



Universidad Autónoma de Yucatán

Facultad de Ingeniería Química

**Propuesta para el incremento de productividad en una
maquiladora de componentes de turbinas de avión**

TRABAJO TERMINAL

PRESENTADA POR:

I.Q.I. RAFAEL ALEJANDRO GRANADOS GIL

EN OPCIÓN AL TÍTULO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA DE OPERACIONES
ESTRATÉGICAS**

DIRECTOR

M. EN A. ILEANA CAMILA MONSREAL BARRERA

TUTORES

M. EN C. FRANCISCO HERNÁNDEZ VÁZQUEZ MELLADO

DR. RENÉ FLORES LÓPEZ

Mérida, Yucatán, México

Enero de 2020

FORMATO A1. CARTA DE DIRECTOR.

Mérida, Yuc. a 6 de enero de 2020.

Dr. Julio Sacramento Rivero

Jefe de la Unidad de Posgrado e Investigación

Facultad de Ingeniería Química.

Presente.

Por este medio informo a Ud. que el Trabajo Terminal denominado “Propuesta para el incremento de productividad en una maquiladora de componentes de turbinas de avión” elaborado por el C. Rafael Alejandro Granados Gil para obtener el grado de Maestro en Ingeniería de Operaciones Estratégicas, ha sido realizado bajo mi asesoría y dirección, y considero que cumple con las características propias de un trabajo de titulación.

Sin otro particular, quedo a su disposición para cualquier aclaración adicional.

Atentamente

M. en C. Ileana Camila Monsreal Barrera

FORMATO B1. CARTA DE PROFESOR TITULAR.

Mérida, Yuc. a 6 de enero de 2020.

IQI. Roger Agustín Bargas Interián

Secretario Administrativo

Facultad de Ingeniería Química.

Presente.

Por este medio informo a Ud. que el Trabajo Terminal denominado “Propuesta para el incremento de productividad en una maquiladora de componentes de turbinas de avión” elaborado por el C. Rafael Alejandro Granados Gil para obtener el grado de Maestro en Ingeniería de Operaciones Estratégicas, ha sido revisado y corregido, por lo que considero que cumple con los requisitos necesarios para ser presentado en examen de grado, autorizando su encuadernación.

Sin otro particular, quedo a su disposición para cualquier aclaración adicional.

Atentamente

M. en C. Jesús Francisco Escalante Euán

FORMATO C1. SOLICITUD DE EXAMEN DE GRADO.

Mérida, Yuc. a 6 de enero de 2020.

M. en C. María Dalmira Rodríguez Martín

Director de la Facultad de Ingeniería Química.

Presente.

Por este medio le solicito me sea concedido presentar Examen en opción al grado de Maestro en Ingeniería de Operaciones Estratégicas, habiendo entregado para tal efecto la documentación correspondiente en la Secretaría Administrativa, de acuerdo con el artículo 54 del Reglamento de Inscripciones y Exámenes de la UADY y del Manual de Procedimientos de Titulación de esta Facultad.

Atentamente

I.Q.I. Rafael Alejandro Granados Gil

FORMATO D1. CARTA DE AUTORIZACIÓN.

CARTA DE AUTORIZACIÓN

El presente trabajo denominado “Propuesta para el incremento de productividad en una maquiladora de componentes de turbinas de avión” elaborado por el C. Rafael Alejandro Granados Gil ha sido autorizado para ser presentado en Examen en opción al Grado de Maestro en Ingeniería de Operaciones Estratégicas.

LOS REVISORES

M. EN C. JESÚS FRANCISCO ESCALANTE EUÁN
PRESIDENTE

M. EN. C. FRANCISCO HERNÁNDEZ
VÁZQUEZ MELLADO

DR. RENÉ FLORES LÓPEZ

EL DIRECTOR

EL AUTOR

M. EN A. ILEANA CAMILA
MONSREAL BARRERA

I.Q.I. RAFAEL ALEJANDRO
GRANADOS GIL

Nota 1. Los nombres indicados entre paréntesis deberán ser escritos con letras mayúsculas.

FORMATO E1. PÁGINA DE ADVERTENCIA.

Aunque un trabajo hubiere servido para el Examen de Grado y hubiere sido aprobado por el Sínodo, sólo su autor es responsable de las doctrinas en él emitidas

Artículo 90 del Reglamento Interior de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán

CONTENIDO

CONTENIDO	i
Lista de tablas.....	iii
Lista de figuras	iii
Lista de gráficas.....	iv
Resumen	v
Abstract	vi
Palabras clave	vi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	2
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE	3
2.1. Marco conceptual.....	3
2.1.1. Administración de operaciones.....	3
2.1.2. Medidas de la productividad	3
2.1.3. Análisis de los procesos y sus restricciones	5
2.1.4. Capacidad y restricciones de los procesos.....	6
2.1.5. Teoría de Restricciones.....	7
2.2. Marco contextual.....	8
2.2.1. Análisis de procesos.....	8
2.2.2. Lean manufacturing.....	9
2.2.3. Teoría de restricciones	10
2.2.4. Análisis de información.....	10
CAPÍTULO 3. OBJETIVOS	12
3.1. Justificación con planteamiento del problema	12
3.2. Objetivos.....	13

3.2.1. Objetivo general	13
3.2.2. Objetivos específicos.....	13
CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS	14
4.1. Tipo de investigación según criterios	16
4.2. Enfoque	16
4.3. Diseño de investigación	16
4.4. Unidad de análisis.....	17
4.5. Diagrama de flujo con la metodología del trabajo	18
4.6. Metodología	18
CAPÍTULO 5. RESULTADOS.....	20
5.1. Descripción del proceso de producción.....	20
5.2. Descripción del problema actual	27
5.3. Situación actual del proceso	30
5.4. Análisis de las causas que limitan la productividad	36
5.5. Propuesta de rediseño de actividades y procedimientos.....	43
5.5.1. Aplicación de la Teoría de Restricciones	50
CAPÍTULO 6. DISCUSIONES	61
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES	66
Referencias.....	67

Lista de tablas

Tabla 2.1. Ejemplos de medidas de la productividad	4
Tabla 5.1. ESH por producto Leap (asignados por las plantas de EE.UU.)	28
Tabla 5.2. Tiempo promedio entre operaciones en horas	31
Tabla 5.3. Tiempo real promedio para completar el procesamiento de una pieza.	34
Tabla 5.4. Duración ideal de las principales operaciones del proceso	35
Tabla 5.5. Causas de la baja productividad ordenadas de mayor a menor afectación, de acuerdo al departamento de Producción.....	40
Tabla 5.6. Ejemplo de información recabada de la base de datos en piezas (fragmento)	51
Tabla 5.7. Resultados del análisis de la capacidad teórica actual	53
Tabla 5.8. Resultados del cálculo de gages requeridos	56
Tabla 5.9. Duración de las principales operaciones del proceso con la adición de nuevos equipos de medición.....	57
Tabla 5.10. Capacidad teórica al aplicar las propuestas	59
Tabla 6.1. Principales causas de ineficiencia en la producción identificadas y propuestas de solución	62

Lista de figuras

Figura 4.1. Tipos de diseño de investigación	15
Figura 4.2. Diagrama de la metodología	18
Figura 5.1. Ruta del proceso de manufactura de los productos Leap.....	20
Figura 5.2. Elementos abrasivos empleados en el trabajo de acabado en celdas.	22
Figura 5.3. Ejemplo de equipo Gage utilizado para la medición de las dimensiones de las piezas.....	23
Figura 5.4. Ejemplo de inspección por líquidos penetrantes	24
Figura 5.5. Serialización de una pieza de metal mediante el uso de una máquina de marcado de matriz de puntos.....	26
Figura 5.6. Composición del tiempo de trabajo	29
Figura 5.7. Operaciones con tiempos significativamente más largos	33

Figura 5.8. Mapa de la cadena de valor del proceso para los productos Leap (valores por pieza)	38
Figura 5.9. Diagrama de Ishikawa para identificar los factores que limitan la productividad del proceso, de acuerdo al personal	39
Figura 5.10. Ilustración de los racks y las bandejas utilizadas en la planta	41
Figura 5.11. Ilustración actual del transporte y almacenamiento de producto dentro de la planta	46
Figura 5.12. Propuesta de identificación de racks	47

Lista de gráficas

Gráfica 5.1. Proyección de demanda de los productos Leap	27
Gráfica 5.2. Desglose de la demanda por producto de la familia Leap	27
Gráfica 5.3. Comportamiento actual en la liberación de producto	44
Gráfica 5.4. Comparación de la producción diaria máxima actual y tras la implementación de la propuesta	58
Gráfica 5.5. Comparación de las capacidades de procesamiento en las operaciones cuello de botella, valores actuales y tras implementación de la propuesta	60

Resumen

El crecimiento proyectado en la industria aeroespacial para los próximos años es de dimensiones sin precedentes, esto hace cada vez más necesario que las industrias del medio estén preparadas para los crecientes volúmenes de producción que se estarán dando. Para esto, se requiere que las empresas de este medio sean conscientes de sus capacidades de producción, así como las restricciones de sus procesos productivos, con la finalidad de tener un diagnóstico de la empresa que permita detectar las áreas de oportunidad que, mediante su refuerzo, permitan mejorar la productividad, para evitar causar afectaciones al mercado. El presente trabajo presenta el estudio del caso de una maquiladora de componentes de turbinas de avión en la Ciudad de Mérida, Yucatán, México y una propuesta para aumentar la productividad del proceso productivo de la familia de productos de mayor volumen. Mediante la metodología aplicada se realizó un análisis del proceso para identificar las principales causas que influyen en la productividad, al identificar las causales de mayor impacto se pudo hacer una serie de propuestas de solución que consistieron principalmente en la aplicación de la Teoría de Restricciones y la mejora continua. Se demostró que su aplicación puede beneficiar los niveles de productividad en más de un 12% y al mismo tiempo eliminar los principales cuellos de botella del proceso.

Abstract

The forecasted ramp-up in the aerospace industry is something without precedent and in order to meet the market requirements, the firms involved in this business turn must be prepared for the increasing demand. To achieve this goal, the companies must be aware of their production capacities and their process restrictions, in order to make an analysis and a diagnosis of the current status of firm that will allow to detect the areas of opportunity whose productivity levels will need to be improved to meet the customer requirements. This work presents a case of study of an airfoil manufacturing company located in the City of Merida, Mexico and a group of proposals to increase the productivity of the manufacturing process of the family of products with the highest demand volume. Through the application of the methodology a process analysis was carried out with the purpose of identifying the main causes that influence the productivity levels. Once identified, a series of proposals was made in order to lower the impact of the main causes. The proposals consisted in the application of the Theory of Constraints and other Continuous Improvement resources. This work demonstrated that the application of the proposals would translate into beneficial results for the productivity of the company reaching an increase of up to 12% besides eliminating the main bottle necks of the process.

Palabras clave

Administración, análisis, procesos, operaciones, productividad, manufactura, administration, process, analysis, operations, productivity, manufacturing.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como principal objetivo diseñar una propuesta que permita aumentar la productividad de una maquiladora de componentes de turbinas de avión ubicada en la ciudad de Mérida, Yucatán, mediante la disminución del tiempo de ciclo del proceso para una de sus líneas de productos. Se presenta un caso de estudio en el que se realizó un diagnóstico de la situación actual de la planta a través del análisis del proceso para determinar el punto de partida del estudio, para esto se calcularon los tiempos de ciclo y las capacidades del proceso, entre otros indicadores. Partiendo de estos datos se realizó un análisis de la información y se procedió a hacer un diagnóstico de la situación actual, en el que se identificaron las principales causas de baja productividad mediante el uso de diferentes herramientas. Una vez detectadas las causas, se seleccionaron las de mayor impacto y se realizaron las propuestas que ayudaran a reducirlas o eliminarlas. A través de la aplicación de las propuestas se determinó que es posible disminuir el tiempo de ciclo actual en un 12.37%.

El trabajo se divide en siete capítulos a través de los cuales, del capítulo uno al cuatro, se presenta el contexto de la organización, la problemática particular de la empresa, y marco contextual de los trabajos de investigación previos que han dado solución a problemas similares en la industria, de igual forma se plantean los objetivos y los métodos a través de los cuáles se planea cumplirlos. Del capítulo cinco al capítulo siete se presenta el desarrollo del trabajo mediante la aplicación de la metodología, se detallan los diagnósticos, análisis y propuestas realizadas para en los dos últimos capítulos culminar con la discusiones y conclusiones de todos los hallazgos encontrados durante la resolución del presente caso.

1.1. Antecedentes

Hoy en día, la industria aeroespacial se encuentra en una etapa importante de crecimiento y desarrollo, ya que se espera que entre 2017 y 2036 haya un crecimiento en el sector del transporte aéreo de un 83.6% (AIRBUS, 2018), esta proyección implica un crecimiento importante en la industria aeroespacial, ya que estos números se traducen en una demanda de 35,000 aviones en los próximos 20 años. Este crecimiento, en conjunto con los avances tecnológicos como la nueva generación de motores Leap, de mayor eficiencia, y menores niveles de consumo de combustible y contaminación (CFM International Jet Engines, 2018), ha llevado a las compañías que manufacturan elementos para la industria aeroespacial a buscar alternativas que les permitan aumentar sus capacidades de producción y disminuir sus costos operativos.

La mayor parte de los procesos de manufactura de una de las empresas aeroespaciales más grandes del mundo, dedicada a la fabricación de componentes de turbinas de aviones, específicamente álabes, se realiza en una planta ubicada en la ciudad de Mérida, Yucatán, que inició operaciones en 2001. Desde entonces ha ido aumentando en capacidad y volumen de producción año con año hasta llegar actualmente a la producción de más 8,000 piezas al día.

El proceso de manufactura de álabes involucra una larga serie de procesos de producción, que van desde la elaboración de los patrones individuales de cera para cada pieza, los cuales son utilizados para la elaboración de los moldes de fundición, hasta los procesos finales de acabado y pruebas no-destructivas. Estos procesos se engloban en dos grandes grupos: fundición y manufactura.

CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Administración de operaciones

Para el desarrollo de este trabajo es necesario sentar las bases teóricas de los conceptos que se estarán utilizando. Al ser el tema principal una propuesta de mejora para el aumento de la productividad, es muy importante tener en cuenta la administración de operaciones, la cual se refiere al diseño, dirección y control sistemático de los procesos que transforman los insumos en servicios y productos para los clientes internos y externos (Krajewski, 2008). Es importante recalcar que los sistemas de transformación se encuentran en interacción constante con su medio ambiente (Schroeder, 2011), por lo que su administración implica un monitoreo continuo tanto del sistema como del medio.

2.1.2. Medidas de la productividad

Es necesario establecer una unidad de medición del aprovechamiento de los recursos, es aquí en donde entra el concepto de productividad, que suele emplearse para conocer qué tan bien se están utilizando los recursos disponibles (Chase & Jacobs, 2009). La productividad se refiere al valor de los productos (bienes y servicios) dividido entre el valor de los recursos (salarios, costos de equipo y similares) que se han usado como insumos (Krajewski, 2008). Este concepto es uno de los indicadores más importantes que permite la medición del desempeño de una organización. La productividad se puede expresar de diferentes formas (como se observa en la Tabla 2.1), sin embargo, la definición general se presenta en la Ecuación 1:

$$Productividad = \frac{Salidas}{Entradas} \quad (1)$$

De acuerdo con la Ecuación 1, para incrementar la productividad, es necesario que la razón de salida a entrada sea lo más grande posible, con lo que puede inferirse que a mayor salida y menor cantidad de entradas, mayor el aprovechamiento de los recursos. Algunos ejemplos de medida de la productividad se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Ejemplos de medidas de la productividad

Medida parcial	Medida multifactorial	Medida total
$\frac{\text{Producto}}{\text{Trabajo}}$	$\frac{\text{Producto}}{\text{Trabajo} + \text{Capital} + \text{Energía}}$	$\frac{\text{Producto}}{\text{Insumo}}$
$\frac{\text{Producto}}{\text{Capital}}$		$\frac{\text{Bienes y servicios producidos}}{\text{Todos los recursos utilizados}}$
$\frac{\text{Producto}}{\text{Materiales}}$		
$\frac{\text{Producto}}{\text{Energía}}$		

Fuente: (Chase & Jacobs, 2009).

El concepto de productividad va de la mano con otros dos conceptos: la eficiencia y la efectividad. La eficiencia expresa la forma en que se utilizan los recursos de la empresa: humanos, tecnológicos, materia prima, etc; mientras que la efectividad expresa el grado de cumplimiento, en volumen, de los objetivos, metas, estándares, etc. Estos conceptos se complementan con el tiempo de ciclo, el cual se define como el tiempo que toma procesar una unidad o lote, siendo este el tiempo transcurrido entre la primera actividad del proceso hasta la última necesaria para obtener el producto terminado (Cuatrecasas, 2012).

Por otro lado, la calidad se ha convertido en uno de los criterios de decisión más importantes para el cliente al momento de seleccionar productos y servicios. Comprender y mejorar la calidad se ha vuelto un factor clave para el éxito de un

negocio y la mejora de su competitividad (Montgomery, 2013), por lo que ésta no se debe perder de vista al realizar cambios en un sistema.

2.1.3. Análisis de los procesos y sus restricciones

Se debe tener una definición clara de lo que es un proceso, puesto que la mayor parte de este trabajo se centrará en este concepto. Un proceso se define como cualquier actividad o grupo de actividades que toma una entrada, le agrega valor, y provee una salida a un cliente interno o externo, también se puede definir como un conjunto estructurado y medido de actividades que mantienen un orden específico a lo largo del tiempo y el espacio, con un comienzo y un final y unas entradas y salidas claramente identificadas: una estructura para la acción (Serrano-Gómez & Ortiz-Pimiento, 2012).

Los procesos utilizan los recursos de la organización para proveer un resultado final. Se ha establecido que para lograr la mejora de los procesos es necesario el análisis sistemático del conjunto de actividades interrelacionadas en sus flujos, con el fin de cambiarlos para hacerlos más efectivos, eficientes, y adaptables, y así lograr aumentar la capacidad de cumplir los requisitos de los clientes (Serrano-Gómez & Ortiz-Pimiento, 2012) .

El análisis de procesos puede tener varias aplicaciones, entre las cuales se encuentran (Hernandez-Matias, Vizán, Hidalgo, & Ríos, 2006):

- Diagnóstico de problemas con los materiales, la información, y el control de flujos.
- Restructuración de un proceso de manufactura para mejorar su desempeño.
- Reingeniería de procesos de negocio.
- Implementación de sistemas de planeación de recursos empresariales, sistemas de ejecución de manufactura, y administración de la información del producto.
- Implementación de estrategias *Just-in-time*, *Total Quality Management*, *Quality Function Deployment*, entre otras.

2.1.4. Capacidad y restricciones de los procesos

Parte de la problemática abordada en el presente trabajo gira entorno a los problemas de capacidad de la planta. La capacidad se considera como la cantidad de producción que un sistema es capaz de generar durante un período de tiempo específico (Chase & Jacobs, 2009). Heizer & Render (2007) mencionan que los conceptos y medidas de capacidad más importantes para la gestión de operaciones son:

- Capacidad proyectada o diseñada: es la máxima producción teórica que se puede obtener de un sistema en un periodo de tiempo determinado en condiciones ideales.
- Capacidad efectiva o real: es la capacidad que espera alcanzar una empresa dadas sus limitaciones operativas actuales (combinación de productos, métodos de programación, mantenimiento, y estándares de calidad).
- Utilización: producción real como porcentaje de la capacidad proyectada.
- Eficiencia: es el porcentaje de la capacidad efectiva alcanzada realmente.

Los problemas relacionados con la capacidad se presentan al haber cuellos de botella causados por equipos y falta de personal operativo, así como también por una mala programación de actividades, es por esto que la programación de la producción se debe usar como respuesta operativa que permita optimizar la producción de un bien (Ortiz-Triana & Caicedo-Rolón, 2015). Para atacar el problema de las restricciones de capacidad es importante determinar la capacidad que se requerirá. Chase & Jacobs (2009) señalan que la planeación de la capacidad involucra tres pasos:

1. Usar técnicas de pronósticos para prever las ventas de los productos individuales.
2. Calcular el equipamiento y la mano de obra que se requerirá para cumplir los pronósticos de las líneas de productos.
3. Proyectar el equipamiento y la mano de obra que estará disponible durante el horizonte del plan.

De igual forma señalan que en muchas ocasiones se debe tener un colchón de capacidad que se mantendrá entre los requerimientos proyectados y la capacidad real.

Abedinnia, Glock, & Schneider (2017) sostienen que los problemas de programación se dan cuando se realiza la asignación de un recurso limitado al cumplimiento de una tarea específica durante un determinado tiempo. Hablando de la programación específica de maquinaria, es importante generar un buen programa para la máquina cuello de botella, ya que su programación determina el programa para los equipos que se encuentran antes y después del mismo.

2.1.5. Teoría de Restricciones

Una metodología ampliamente utilizada para estructurar y resolver problemas de la industria relacionados con el análisis de procesos es la Teoría de Restricciones, propuesta por Eliyahu Goldreath inicialmente en 1984. Şimşita, Günayb, & Vayvayc (2014) la definen como una filosofía administrativa que se enfoca en los eslabones más débiles de la cadena (cuellos de botella) para mejorar el desempeño de un sistema. Esta filosofía elimina la mentalidad independiente de los procesos y los plantea como eslabones de una misma cadena, al mismo tiempo que se enfoca en los puntos más débiles de esta y trata de determinar la relación entre estos.

La Teoría de Restricciones (TOC, por sus siglas en inglés) se basa en la idea de que todos los sistemas tienen al menos un cuello de botella, el cual puede ser definido como cualquier clase de situación que impide que el sistema alcance altos niveles de desempeño en términos de sus propósitos y metas (Şimşita et al., 2014). Los mismos autores describen que para la aplicación de la teoría de restricciones, se deben seguir cinco pasos:

1. Identificar la restricción.
2. Explotar la restricción efectivamente (operar la restricción a su máxima capacidad).

3. Subordinar a la restricción todas las decisiones relacionadas con la misma (cambio operativo para eliminar la restricción).
4. Eliminar la restricción (aumentando su capacidad).
5. Una vez que la restricción ha sido eliminada, empezar nuevamente con el primer paso.

De acuerdo con la teoría de restricciones, en toda organización existe al menos una restricción que impide que la compañía alcance sus metas. La teoría establece que la capacidad de una compañía está limitada por las restricciones de sus procesos de producción, y por lo tanto, es necesario definir y eliminar estos cuellos de botella (Okutmuş, Kahveci, & Kartašova, 2015). Según la teoría, el eliminar una restricción conduce a la ocurrencia de otra, la cual también debe ser eliminada, llevando a la firma a tener un enfoque de mejora continua en sus procesos.

2.2. Marco contextual

2.2.1. Análisis de procesos

Son varios los trabajos que han abordado el análisis de procesos para detallar sus efectos en las organizaciones, tal es el caso de Serrano-Gómez & Ortiz-Pimiento (2012), que realizaron una revisión de la literatura sobre los diferentes modelos para el mejoramiento de procesos con la finalidad de alinear las operaciones de las empresas con sus prioridades estratégicas. Su objetivo fue proporcionar información útil sobre esta área del conocimiento. Presentaron diferentes modelos de análisis y mejora y los clasificaron en 3 estos enfoques:

- El incremental, aquel que aporta pequeños cambios como pueden ser la solución de problemas específicos de calidad del producto o servicio.
- El rediseño de procesos, que busca lograr los resultados de las organizaciones satisfaciendo a sus clientes y logrando reducción de costos y de tiempos de ciclo en los procesos.

- El enfoque de la reingeniería con mejoras más radicales como en la estructura organizacional, o en la forma de gestión con nuevas orientaciones estratégicas.

Luna-Puente, Guerrero-Aguirre, Contreras-Amezquita, & Moreno-Villanueva (2010) abordaron el tema en la industria textil realizando un análisis del proceso de fabricación de cuellos para playeras tipo polo, con la finalidad de disminuir las pérdidas ocasionadas al desperdiciar hilo. Realizaron el análisis de la programación de la maquinaria utilizada en este proceso para determinar las combinaciones óptimas de los parámetros que garantizaban que el producto cumplía con las características establecidas por el cliente al mismo tiempo que se disminuían los desperdicios de materia prima.

Arango-Serna, Campuzano-Zapata, & Zapata-Cortes (2015) aplicaron la metodología Kanban y el análisis de su efecto en una empresa de fabricación de transformadores. Mediante la aplicación de su propuesta fueron capaces de mejorar la programación de la producción y redujeron la cantidad de producto en proceso no utilizado, de forma que fue posible reducir el inventario. Aplicaron técnicas de simulación y a partir de los resultados obtenidos fueron capaces de demostrar que la metodología proporciona una mejoría significativa en las líneas de producción.

De igual forma, Robles (2012) realizó una propuesta de mejora en el proceso productivo de una empresa dedicada a la producción de cereales, mediante la implementación del Lean Manufacturing, se logró identificar las deficiencias del proceso, disminuir los tiempos de producción, generando menos merma y generando ahorros económicos para la empresa.

2.2.2. Lean manufacturing

Autores como Rocha, Pinto & Silva (2018) trabajaron con la filosofía Lean en una empresa de manufactura de joyería, y aplicaron diferentes herramientas como los sistemas *Pull*, Kanban, 5 S's, entre otros, para impulsar la efectividad y eficiencia de la operación de la planta logrando disminuir: productos defectuosos, inventarios

excesivos, problemas de transporte, tiempos de espera excesivos, y la falta de aprovechamiento del recurso humano.

Molano & Materón (2018) realizaron un análisis de los procesos en una empresa de alimento para animales con la finalidad, identificando los principales factores que afectan la productividad y realizando propuestas para aumentarla, así como también para reducir los tiempos de ciclo. El trabajo lo realizan utilizando la filosofía Lean Six Sigma y la metodología DMAIC.

2.2.3. Teoría de restricciones

La Teoría de Restricciones cobra importancia al ser una metodología que se ha utilizado ampliamente en todo tipo de industrias, tanto públicas como privadas, como lo señalan Okutmuş, Kahveci, & Kartašova (2015) quienes aplicaron esta teoría en la industria mueblera para identificar las restricciones del proceso productivo mediante la metodología que Goldratt propuso en 1984. Fueron capaces de detectar el eslabón más débil de la cadena para posteriormente realizar una propuesta que resultó en un incremento de la capacidad de producción, y con esto, un aumento de un 42% en las utilidades de la empresa.

2.2.4. Análisis de información

Tao, Qi, Liu & Kusiak (2018) en su trabajo describen la creciente cantidad de información generada por las empresas de hoy en día y hacen énfasis en la importancia del análisis de la misma, mediante herramientas de análisis estadístico y Big Data, que permitan incrementar la eficiencia de la industria manufacturera, así como también que aporten sustento a la toma de decisiones, supervisión de operaciones y equipo, control de calidad, predicción de fallos y mantenimiento inteligente.

Con base en el análisis de información y desarrollando diferentes indicadores para evaluar, Yang, Fukuyama, & Song (2018) realizaron un estudio para determinar los niveles de capacidad y utilización de la industria manufacturera en China. De igual

forma, Chen, Chen, & Harianto (2017) muestran cómo es posible crear un sistema de planeación de la capacidad para la industria del empaque, que permite obtener un programa de producción factible, incrementar la eficiencia de la operación, y evitar problemas de capacidad, mediante el análisis de información del proceso como tiempos de secado, patrones de corte, y capacidad de los equipos.

CAPÍTULO 3. OBJETIVOS

3.1. Justificación con planteamiento del problema

El crecimiento actual que está teniendo la industria aeroespacial es algo sin precedentes que causa preocupación a los principales fabricantes de turbinas de aviones, dada la complejidad de los procesos de manufactura de los productos Leap de nueva tecnología. Este incremento en los volúmenes de producción hace cada vez más necesario un cambio en la operación y organización de la planta que permita tener procesos más eficientes con tiempos de producción menores. Actualmente la planta Mérida brinda el servicio de manufactura de álabes a 4 de las plantas de una de las empresas de manufactura de componentes aeroespaciales más grandes del mundo.

La lista de problemas que afectan la productividad en la planta Mérida, así como el uso de los recursos disponibles, varía entre áreas de trabajo, pero un diagnóstico general puede enlistar los siguientes problemas:

- Mala programación específica de la producción: no se conocen las capacidades exactas de los equipos y procesos, las programaciones diarias se realizan de manera empírica.
- Al tratarse de productos de precisión, la mayor parte del personal está entrenado únicamente para trabajar el producto de una única línea de productos, lo que causa que, cuando no se cuenta con dicho producto, el personal no se aproveche, desperdiciando recursos.
- Problemas de flujo de producto:
 - Productos similares con secuencias de proceso diferentes.
 - Productos que van a procesos similares en diferentes ubicaciones de la planta.
 - Productos de volúmenes pequeños quedan rezagados: grupos pequeños de piezas son difíciles de mover dentro del proceso.
- Equipos detenidos por calibraciones vencidas.

La problemática presentada se puede resumir en dos áreas de oportunidad: aprovechamiento de los recursos disponibles y mejora en el flujo de producto.

Dado el crecimiento que ha tenido la empresa en los últimos años y el incremento proyectado de la producción, se vuelve necesario aumentar la productividad y eficiencia del uso de los recursos para sacar el mayor provecho de estos, lo que conlleve a una mayor utilización y un mejor flujo de producto.

Este trabajo pretende abordar la problemática anteriormente descrita, para los blades, específicamente la familia de productos “Leap” que es la de mayor volumen actualmente y es para la que está pronosticada el incremento más significativo para los próximos años.

3.2. Objetivos

3.2.1. Objetivo general

Diseñar una propuesta que permita aumentar la productividad de una maquiladora de componentes de turbinas de avión.

3.2.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual de los tiempos de producción de los productos Leap.
- Identificar las causas de la ineficiencia en la operación actual.
- Proponer las soluciones necesarias para aumentar la productividad del proceso.

CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS

Tomando en cuenta que una hipótesis es una suposición acerca de las variables que definen el problema de investigación (Bernal, 2010), es necesario definir el concepto de variable. Este autor menciona que una variable “es una característica, atributo, propiedad o cualidad que puede estar o no presente en los individuos, grupos o sociedades; puede presentarse en matices o modalidades diferentes o en grados, magnitudes o medidas distintas a lo largo de un *continuum* (medio continuo)”. El autor menciona que existen tres tipos de variables y que es muy importante identificar cada una de ellas. Estas son:

- Variable independiente: todo aquel aspecto, hecho, situación o rasgo que se considera como “la causa de” en una relación entre variables.
- Variable dependiente: es el “resultado” o “efecto” producido por la acción de la variable independiente.
- Variable interviniente: son todos aquellos aspectos, hechos y situaciones del medio ambiente, las características del sujeto/objeto de la investigación, el método, etc., que están presentes o “intervienen” en el proceso de la interrelación de las variables dependiente e independiente.

En referencia a la investigación, Bernal (2010) menciona que un diseño de investigación está determinado por el tipo de investigación a realizar y por la hipótesis a probar durante el desarrollo de la investigación. Los diseños son un conjunto de procedimientos con los cuales se manipulan una o varias variables independientes con la finalidad de medir su efecto sobre una o más variables dependientes.

La Figura 4.1 muestra la clasificación de Campbell y Stanley, la cual es la más usada para los diferentes tipos de diseños de investigación (Bernal, 2010).

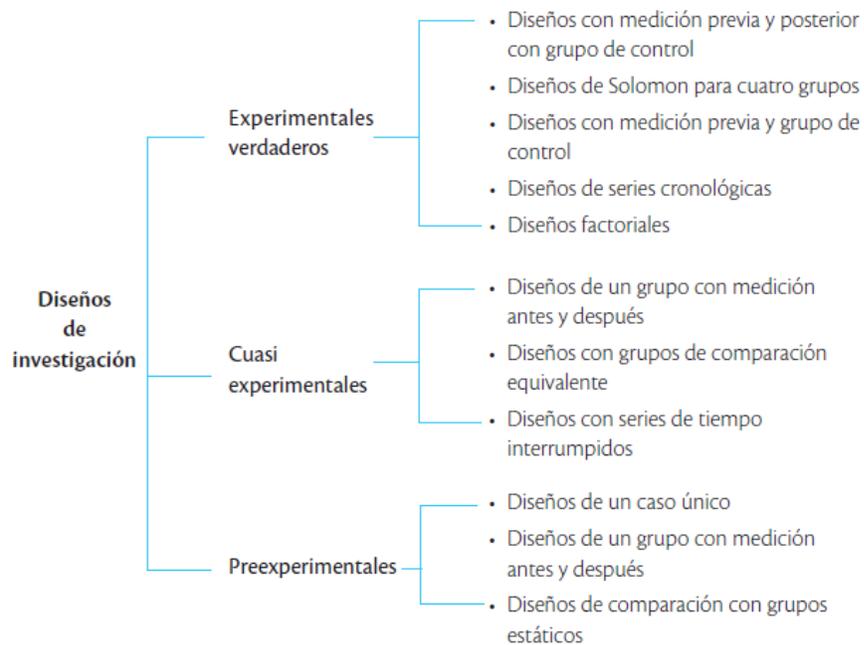


Figura 4.1. Tipos de diseño de investigación

Fuente: (Bernal, 2010).

Esta clasificación identifica tres categorías generales de investigación:

- Diseños experimentales verdaderos: Se caracterizan por un alto grado de control de las variables, y porque la selección de los sujetos de los grupos experimentales y de control se realiza de manera aleatoria.
- Diseños cuasi-experimentales: estos difieren de los diseños experimentales verdaderos principalmente porque en estos, el grado de control sobre las variables extrañas es menor o inexistente.
- Diseños pre-experimentales: este tipo de diseño presenta el más bajo control de variables y no efectúan asignación aleatoria de los sujetos al experimento. En estos, el investigador no ejerce ningún control sobre las variables extrañas o intervinientes. Algunos diseños pre-experimentales son:
 - Diseño de un caso único.
 - Diseño de un grupo con medición previa y posterior.
 - Diseño de comparación con un grupo estático.

El diseño pre-experimental es el que se aplicará en el presente trabajo, ya que se parte del análisis inductivo de un caso único al tratarse de un estudio realizado en una planta de manufactura de partes de turbinas de avión.

4.1. Tipo de investigación según criterios

Alcance: explicativo, ya que se describe la problemática de manera detallada, así como se explican las causas que la originan, con la finalidad de realizar una propuesta.

Temporalidad: transversal, ya que la investigación se centra en analizar el grado de relación de las variables del problema en un mismo punto del tiempo.

Fuente: primaria, ya que se recopila información de primera mano para posteriormente ser analizada.

4.2. Enfoque

El enfoque de este trabajo es mixto, ya que incorpora elementos de los enfoques tanto cualitativos como cuantitativos.

4.3. Diseño de investigación

Se presenta un tipo de diseño pre-experimental, específicamente de un caso de estudio único. Este tipo de diseño permite tomar la realidad de un evento ocurrido en una organización y que es idóneo para investigar, ya que sirve para explicar relaciones causales complejas, estudiar cambios a través del tiempo, elaborar perfiles descriptivos, generar teorías o generalizaciones teóricas, utilizando una perspectiva holística del fenómeno estudiado, entendiendo el contexto real en el que se desarrollaron los hechos (Saavedra García, 2017). Es de esta forma que el estudio de un caso intenta describir y explicar resultados empíricos a partir de una teoría previa o por el contrario se determinan teorías desde la experiencia (Peña Collazos, 2009). Castro (2010) señala que el estudio de un caso, al ser un tipo de

investigación cualitativa, no pretende generalizar los resultados a poblaciones más amplias, ni obtener muestras representativas, puesto que se fundamentan en un proceso inductivo que explora y describe para posteriormente generar perspectivas teóricas. De allí que se conciba un estudio de caso como una estrategia de investigación dirigida a comprender las dinámicas presentes en contextos singulares (Martínez Carazo, 2006). Es por esto que el método del estudio de un caso:

- Es adecuado para investigar fenómenos en los que se busca dar respuesta a cómo y por qué ocurren.
- Permite estudiar un tema determinado y sus fenómenos desde múltiples perspectivas y no desde la influencia de una sola variable.
- Permite explorar en forma más profunda y obtener un conocimiento más amplio sobre cada fenómeno, lo cual consiente la aparición de nuevas señales sobre los temas que emergen.

4.4. Unidad de análisis

El crecimiento que está teniendo la industria aeroespacial en conjunto con los problemas de capacidad que están teniendo varios de los principales proveedores de álabes a lo largo del mundo (dada la complejidad del proceso de manufactura de estos productos) es algo sin precedentes que causa preocupación a los principales fabricantes de turbinas de aviones (Bloomberg, 2018).

La unidad de análisis es el área de producción de una planta maquiladora de componentes de turbinas de avión situada en la Ciudad de Mérida, Yucatán. El trabajo se enfoca en la línea de productos Leap que es la de mayor volumen de producción, y en todas las operaciones que intervienen en su procesamiento.

4.5. Diagrama de flujo con la metodología del trabajo

La Figura 4.2 muestra el diagrama de la metodología utilizada en el trabajo.

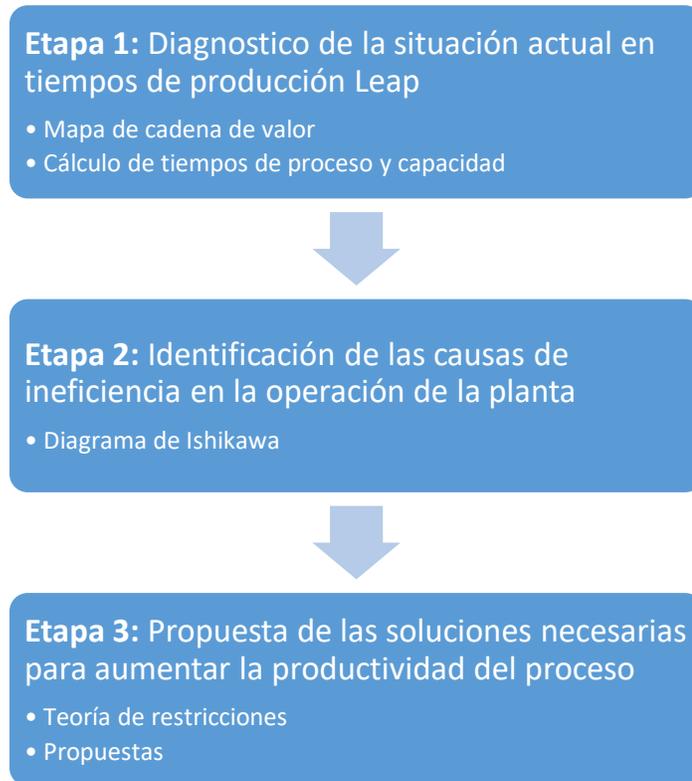


Figura 4.2. Diagrama de la metodología

4.6. Metodología

Usando como referencia la metodología que aplicaron (Okutmuş, Kahveci, & Kartašova, 2015) para el análisis del proceso y (Molano & Materón, 2018) para el aumento de la productividad y la reducción de tiempos de ciclo, se propone la metodología presentada a continuación para cumplir con cada uno de los objetivos específicos:

Etapa 1: Diagnóstico de la situación actual del proceso mediante la revisión de los tiempos de producción de la línea de productos Leap:

Recopilación de información de la literatura, datos históricos del proceso, utilización de diferentes herramientas de diagnóstico y análisis en las diferentes operaciones para conocer los niveles de productividad y la capacidad actual del proceso:

- 1.1. Descripción del proceso.
- 1.2. Determinación de los tiempos de proceso y tiempos de entrega.
- 1.3. Determinación de la capacidad máxima de producción.
- 1.4. Determinación del tiempo de ciclo máximo permisible.
- 1.5. Aplicación del mapa de la cadena de valor.

Etapla 2: Identificación de las principales causas de ineficiencia en la operación de la planta:

Análisis de la información recabada en el diagnóstico mediante el uso de diferentes herramientas que permitan identificar las principales causas de la baja productividad del proceso:

- 2.1. Aplicación de diagramas de Ishikawa para identificar las limitantes de la productividad.
- 2.2. Definición del grado de afectación de cada una de las causas de las limitantes de la productividad.

Etapla 3: Propuesta de los cambios necesarios para aumentar la productividad del proceso mediante la disminución de los tiempos de ciclo:

Propuesta de soluciones que, a través del rediseño de los procedimientos y actividades críticas, permitan atacar los problemas identificados en el análisis del problema, de tal manera que se eliminen los principales cuellos de botella del proceso y, en general, se incremente la capacidad:

- 3.1. Aplicación de la Teoría de Restricciones para eliminar los principales cuellos de botella.
- 3.2. Propuesta de solución a las causas identificadas de mayor afectación a la producción.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

Etapa 1

5.1. Descripción del proceso de producción

La secuencia general del proceso de manufactura de los productos Leap se muestra en la :

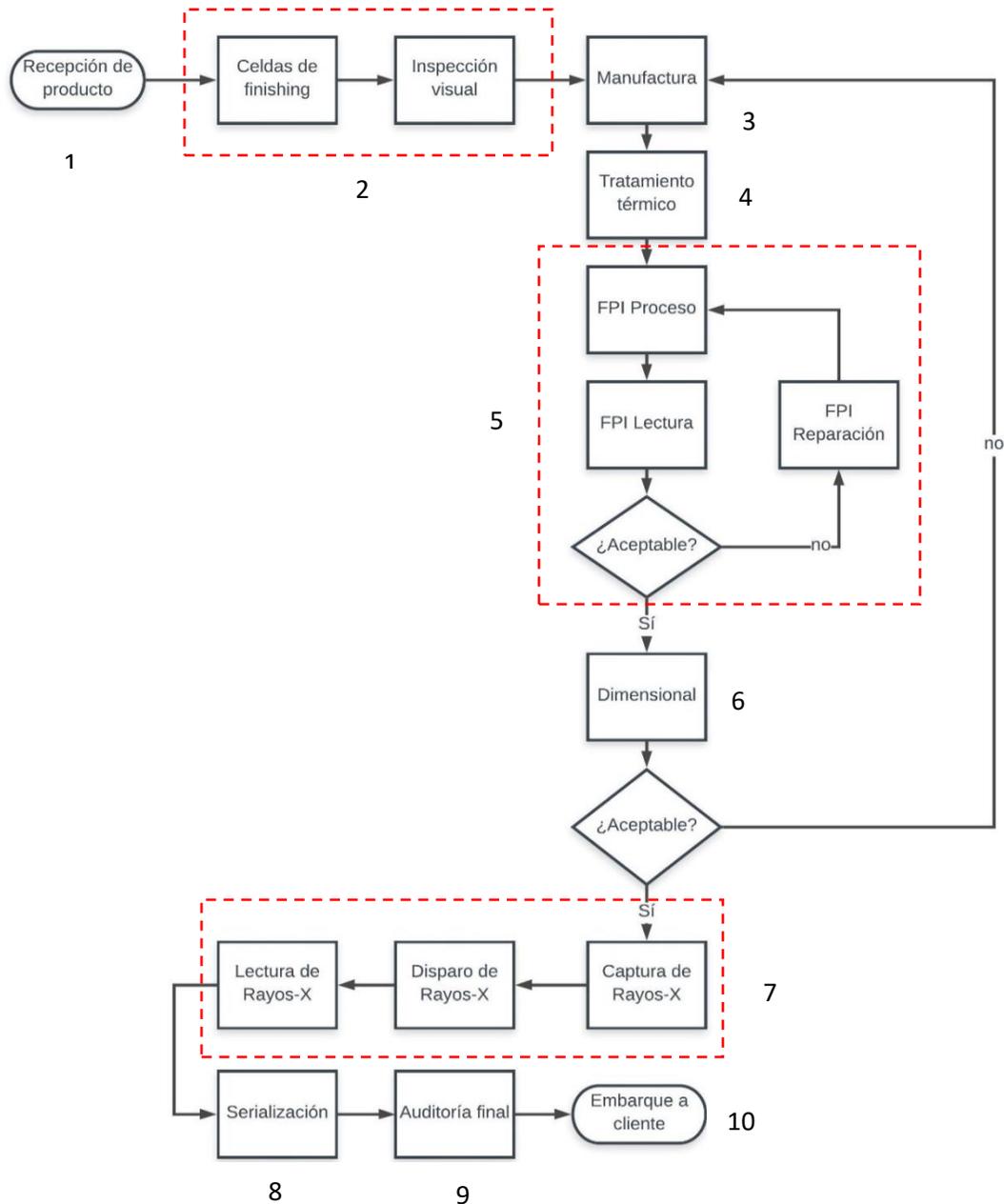


Figura 5.1. Ruta del proceso de manufactura de los productos Leap

Como se observa en la secuencia presentada en la , en todo el proceso de manufactura de álabes intervienen una larga serie de procesos e inspecciones. A continuación, se describe brevemente cada una de las operaciones del proceso:

1. Recepción de producto: en esta etapa inicia el proceso en la planta Mérida. Todos los días, las plantas de fundición de Estados Unidos envían producto a Mérida por avión para su procesamiento. El producto llega en cajas a la planta Mérida, es descargado de los vehículos del transportista y es ubicado en el área de entrada de producto denominada *Incoming* o recepción, aquí el producto espera hasta ser programados en las celdas de acabado para iniciar su procesamiento. Esta área cuenta con un auxiliar de producción encargado de ordenar y clasificar el producto tan pronto llega para facilitar su ubicación por cliente y número de parte. Una vez realizada la programación de trabajo en celdas, es el auxiliar el encargado de llevar el producto al área de trabajo para que el personal operativo pueda trabajar las piezas asignadas durante el turno.

2. Trabajo de acabado en celdas e inspección visual: esta es una de las operaciones principales del proceso que consiste en eliminar los principales defectos presentes en la superficie de la pieza, procedentes del proceso de fundición. Estos defectos son removidos mediante el uso de materiales abrasivos como *burrs* y piedras de desgaste como los que se muestran en la Figura 5.2, lijadoras neumáticas, entre otras, que permiten eliminar rebabas, líneas del molde, irregularidades superficiales como porosidad, excesos de metal, entre otros defectos surgidos como parte del proceso de fundición. La finalidad de esta operación es obtener una pieza visualmente aceptable según las especificaciones de cada cliente. Cabe aclarar que no todos los defectos pueden ser removidos, ya que existen algunos característicos del proceso de fundición que comprometen la integridad de la pieza en funcionamiento, por lo que estos son rechazados desde un inicio. La inspección visual consiste en la revisión del trabajo de acabado para corroborar que todos los requerimientos visuales del cliente se cumplan. Las piezas que no cumplan con alguna de las características requeridas, es marcada y

regresada a las celdas para su reparación, hasta ser aceptable. Una vez que la pieza es conforme, es aceptada y se mueve a la siguiente operación.



Figura 5.2. Elementos abrasivos empleados en el trabajo de acabado en celdas

Fuente: AliExpress (2015). Flexsteel Official Store. [Figura]. Obtenido de:
<<https://es.aliexpress.com/item/10-Piezas-1-8-3mm-Shank-Inverted-Cone-Tungsten-Steel-Carbide-Burrs-Tooth-Drill-Bits-For/32603416976.html>>

3. Manufactura dimensional: Una vez que se tiene una pieza conforme visualmente, se procede a su inspección dimensional preliminar o manufactura dimensional. Esta operación consiste en la medición de ciertas características de las piezas mediante la utilización de diferentes herramientas y equipos conocidos como Gages, como el que se muestra en la Figura 5.3, para validar que sus dimensiones corresponden a las que cada cliente especifica en sus planos. Al ser una medición preliminar, únicamente se miden los puntos que con mayor frecuencia se encuentran fuera de las tolerancias permitidas. Al detectarse un punto no conforme la pieza se debe reparar para lograr que la medición entre en tolerancia. Las reparaciones pueden ir desde desgastar un punto de la pieza mediante el uso de abrasivos como lijas o chorro de arena hasta torcer o doblar alguna característica de la pieza. Existen procedimientos para cada número de parte en los que se especifica qué tipo de reparación se debe realizar para que las dimensiones entren en tolerancia. Una vez que la pieza se ha reparado, se vuelve a medir para

corroborar que las dimensiones quedaron en tolerancia y se procede a aceptar la pieza. Es importante recalcar que cada número de parte cuenta con un equipo específico que sólo puede usarse para ese determinado producto.

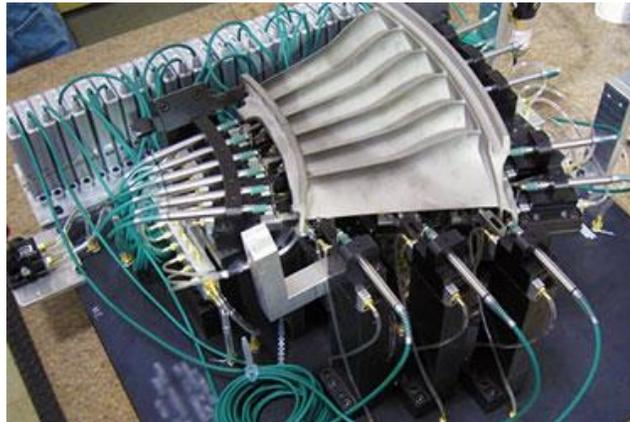


Figura 5.3. Ejemplo de equipo Gage utilizado para la medición de las dimensiones de las piezas

Fuente: Apollo Product's (2007). Products and Services. [Figura]. Obtenido de:
<<http://apitrucast.com/apollo-products-inc/products-services>>

4. Tratamiento térmico: esta operación consiste en ciclos controlados de calentamiento y enfriamiento de las piezas metálicas con la finalidad de cambiar sus propiedades físicas y mecánicas sin alterar de la pieza. Usualmente se utiliza para aumentar la fuerza y resistencia del material, aunque también puede ser utilizado para alivio del estrés mecánico interno del material, para tener como resultado una pieza dimensionalmente estable, menos propensa a tener variaciones en sus dimensiones debido a la redistribución del estrés residual (Engineers Edge, 2018). La duración de estos ciclos varía entre números de parte y clientes, pero en general, está entre 5 y 18 horas.

5. FPI: la inspección por líquidos penetrantes fluorescentes es una inspección no-destructiva que consiste en aplicar un tinte fluorescente, denominado penetrante, a

la superficie de una pieza de fundición, para posteriormente hacer una revisión bajo una luz UV, como se muestra en la Figura 5.4, con la finalidad de detectar defectos no apreciables a simple vista como grietas y otras fallas características del proceso de fundición, que pudieran comprometer la integridad de la pieza. Este proceso consta de dos etapas: la etapa del proceso de preparación y la de la inspección. En la primera etapa el producto pasa por una serie de procesos que consisten en una pre-limpieza, aplicación de líquido penetrante, remoción del exceso, y la aplicación del revelador. La segunda etapa consiste en la inspección de las piezas con luz UV para detectar los defectos que estas pudieran tener. Esta última etapa es una operación crítica que únicamente puede ser realizada por inspectores certificados.

Las piezas pueden resultar aceptables, si no se encuentran defectos; pueden ser rechazadas, si se encuentran defectos críticos como grietas o defectos ocasionados por el proceso de fundición; o pueden ser enviadas a re-trabajo, si el defecto encontrado es superficial y puede ser removido. El re-trabajo incluye una secuencia de operaciones entre las cuales se encuentra la reparación mediante abrasivos que desgasten la pieza para eliminar el defecto, la aplicación de *sandblast* o chorro de arena para limpiar la superficie, y por último el re-proceso en FPI. Si la pieza resulta aceptable, continúa su proceso a la siguiente operación, si el defecto no es removido en su totalidad, la pieza es rechazada nuevamente y se envía a la ruta de trabajo una vez más.

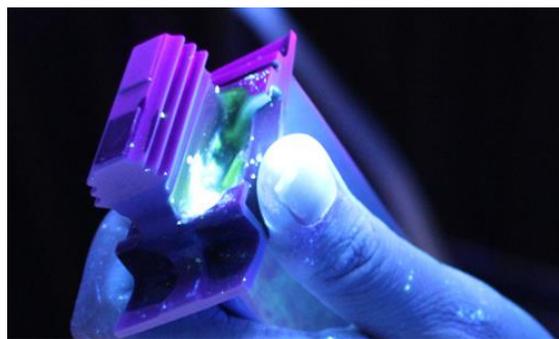


Figura 5.4. Ejemplo de inspección por líquidos penetrantes

Fuente: FinnSonic (2015). FPI or fluorescent penetrant inspection. [Figura].

Obtenido de: <<https://www.finnsonic.com/eng/aviation-fpi-and-cleaning-solutions/fpi/about-fpi>>

6. Inspección dimensional final: esta operación es la verificación dimensional de las piezas medidas y reparadas en la manufactura dimensional. Consiste en la medición completa de todas las características que el cliente requiere, para poder determinar que una pieza es aceptable. Si la pieza es conforme, se acepta y se mueve a la siguiente operación, si es rechazada, se repara y se envía nuevamente a manufactura y se hace pasar nuevamente por la misma secuencia de procesos. Las operaciones de manufactura y dimensional se realizan en la misma área y utilizan los mismos equipos, por lo que esta operación comparte recursos entre sí.

7. Rayos-X: esta es la última prueba no-destructiva por la que pasan las piezas y consiste en la obtención e inspección de la radiografía (filmes) de las piezas para encontrar defectos internos que no pueden ser detectados mediante las inspecciones superficiales visuales y de FPI. Esta operación se divide en tres actividades: la captura de seriales, que consiste en el armado de “batches de disparo” para procesar las piezas en grupos. En esta operación se registra cada serial y se asocia un número de identificación de batch. La segunda etapa que consiste en el disparo de rayos-x a los grupos de piezas para poder obtener las radiografías. En esta operación se colocan las piezas en diferentes posiciones y se introducen en la máquina de rayos-x para poder obtener los filmes y revelarlos posteriormente. La última etapa consiste en la inspección de los filmes para detectar posibles defectos y fallas en las piezas. Generalmente, los defectos encontrados no pueden ser re-trabajados, a menos que consistan en contaminantes residuos de materiales en el interior de las piezas huecas, los cuales pueden ser removidos con relativa facilidad.

8. Serialización: Esta es la última etapa de los procesos realizados en la planta Mérida y consiste en la aplicación de un número de serie asignado por el cliente a cada una de las piezas que han sido procesadas mediante una máquina de marcado de matriz de puntos que aplica presión sobre la pieza con una aguja que va marcando la superficie con los caracteres establecidos como se muestra en la Figura 5.5. Este número de serie ayuda a dar trazabilidad al producto una vez que

las piezas han salido de la planta. Una vez que las piezas han sido marcadas, se colocan en cajas y se preparan para pasar a la auditoría final antes de embarque.



Figura 5.5. Serialización de una pieza de metal mediante el uso de una máquina de marcado de matriz de puntos

Fuente: Youtube (2015). Dot Matrix Serial Markings. [Figura]. Obtenido de:
<<https://www.youtube.com/watch?v=hxQ0TZvztQw>>.

9. Auditoría final: esta es una auditoría previa al embarque del producto al cliente y se realiza mediante muestras de un determinado número de piezas, dependiendo de la cantidad que se requiera enviar al cliente y puede realizarse de manera diaria o semanal. Se inspeccionan diferentes características de la pieza, entre ellas la visual y la dimensional. Si la auditoría se acepta, se libera el producto para embarque; si se rechaza, se inspecciona todo el lote al 100% hasta confirmar que el problema se ha corregido y no se han tenido más hallazgos de defectos.

10. Embarque al cliente: Una vez que el producto está terminado y ha sido auditado, este queda liberado y disponible para ser enviado directamente al cliente. El producto empacado es llevado al Dock o almacén de producto terminado en donde, de acuerdo con los requerimientos del cliente, es embalado y puesto en tarimas para su recolección y envío al cliente. Una vez que el producto es recolectado por las diferentes compañías transportistas o logísticas, este es llevado de las instalaciones de PCC al cliente de manera directa.

5.2. Descripción del problema actual

La Gráfica 5.1 muestra la demanda proyectada por el cliente para la línea de productos Leap para los próximos años, como se puede observar, entre 2018 y 2025 se planea incrementar la demanda en más de un 85%.

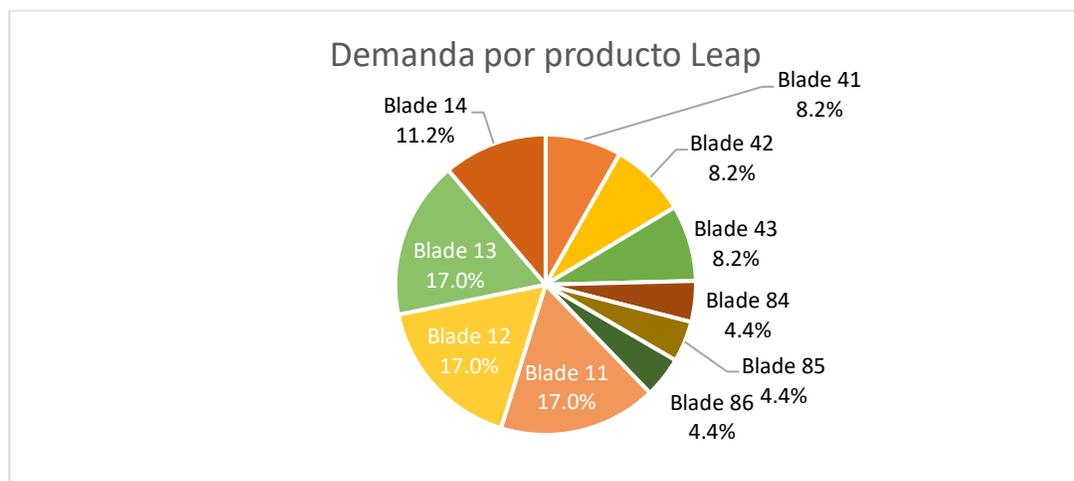
Gráfica 5.1. Proyección de demanda de los productos Leap



Fuente: elaboración propia.

La familia de productos Leap está conformada por 10 productos diferentes utilizados en dos motores distintos. La proporción de la demanda por número de parte se muestra en la Gráfica 5.2.

Gráfica 5.2. Desglose de la demanda por producto de la familia Leap



Fuente: elaboración propia.

Actualmente, la planta no cuenta con un estándar de medición de la productividad de todo el sistema. El único parámetro de medición con el que se cuenta es el de cubrir diariamente el equivalente a un número determinado de “horas estándar de trabajo” (ESH: *earned standard hours* en inglés), este número no es fijo y aumenta cada mes, según lo determine la gerencia y el corporativo de la empresa. Cada producto o número de parte tiene un valor en ESH asignado por las plantas de Estados Unidos y oscila entre 0.1 y 5 horas por pieza, en teoría, dependiendo del grado de complejidad de producto, ya que este valor, en teoría, refleja el tiempo efectivo invertido a cada pieza. La planta va sumando tiempo estándar al finalizar el procesamiento de cada pieza a través de todas las operaciones de su ruta de trabajo.

Para las piezas de mayor volumen, se tienen los valores presentados en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. ESH por producto Leap (asignados por las plantas de EE.UU.)

Producto	Horas estándar
Blade 41	0.450
Blade 42	0.450
Blade 43	0.500
Blade 84	0.610
Blade 85	0.520
Blade 86	0.570
Blade 11	0.456
Blade 12	0.502
Blade 13	0.500
Blade 14	0.730

Fuera de esto, no se tiene otro indicador que refleje la productividad real de la planta ya que se desconocen los tiempos reales invertidos en el procesamiento de cada producto.

La Organización Internacional del Trabajo (1996) señala que el tiempo que tarda un trabajador o una máquina en realizar una actividad o producir una cantidad determinada de cierto producto está constituido como se muestra en la Figura 5.6.

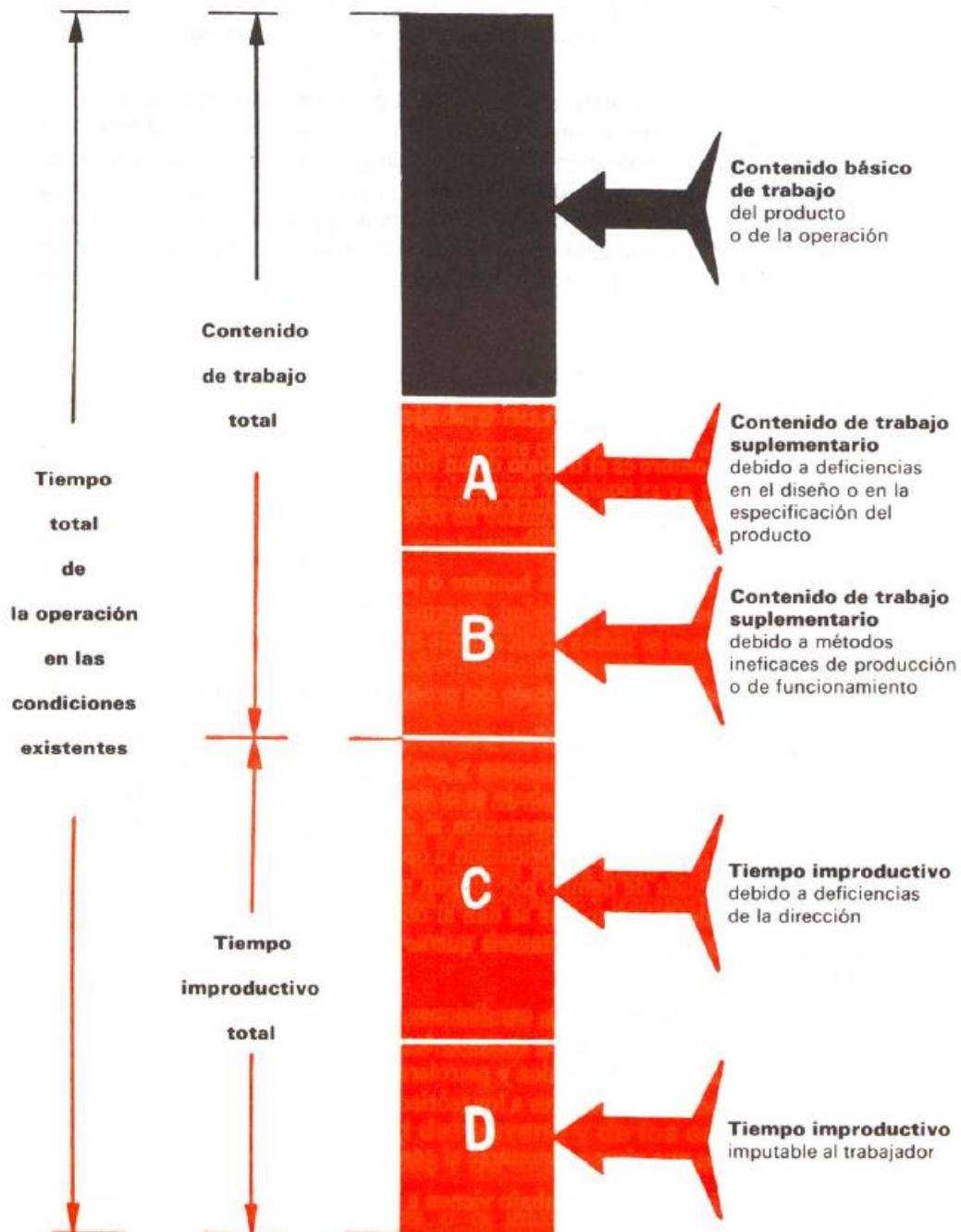


Figura 5.6. Composición del tiempo de trabajo

Fuente: (Organización Internacional del Trabajo, 1996).

De la Figura 5.6 se puede observar que el tiempo total invertido en una operación se puede dividir en dos componentes principales: el contenido de trabajo y el tiempo improductivo, siendo este último atribuible al trabajador o a las deficiencias en la dirección. Niebel & Frivalds (2014) mencionan que la suma de los tiempos elementales proporciona el estándar por pieza. El contenido básico de trabajo es el tiempo mínimo irreductible que se necesita teóricamente para obtener una unidad de producción.

De aquí se puede ver que los tiempos estándares (ESH) actualmente asignados a cada producto representan en realidad el tiempo total de la operación. Al compararlos con los tiempos totales de todo el proceso, es posible observar que hay una gran diferencia entre las magnitudes. De aquí se infiere que existe una gran ineficiencia en el proceso actual y esta podría radicar, en los tiempos de espera que el inventario en proceso pasa antes de ser procesado en cada una de las operaciones de su ruta, así como también a los tiempos improductivos que se tienen en cada una de las operaciones y actividades del proceso.

5.3. Situación actual del proceso

Partiendo de lo anteriormente expuesto, las horas estándar de trabajo (ESH) asignadas a cada pieza no reflejan de manera precisa el tiempo invertido en el procesamiento de los productos Leap por lo que se buscó determinar los tiempos reales del proceso. Para esto, se consultó en la base de datos de la empresa, en el programa SQL Server Manegement Studio, el tiempo medio que transcurre entre el momento en que una pieza es liberada de una operación y es procesada en la siguiente, es decir, el tiempo que espera cada pieza desde que es puesta en cola para ser procesada hasta que finaliza su procesamiento en dicha operación. Se obtuvo la información de tres meses de producto procesado (agosto, septiembre y octubre de 2018). En la Tabla 5.2 se muestra el resultado en horas reales, en donde arbitrariamente se señalaron en color verde los tiempos menores a 12 horas, en amarillo los tiempos entre 12 y 18 horas, y en rojo los tiempos mayores a 18 horas. Es importante tener en cuenta que esto no incluye únicamente tiempos de

procesamiento, sino también tiempos de espera como producto en cola, dado que esta es la información a la que se puede tener acceso desde la base de datos.

Tabla 5.2. Tiempo promedio entre operaciones en horas

Operación	Producto (tiempo en horas)									
	11	12	13	41	42	43	84	85	86	14
Finishing_MFG	28.06	11.73	14.43	36.93	56.37	47.96	16.76	17.66	27.88	11.72
MFG_HT	18.05	17.38	16.66	16.75	17.17	16.70	16.43	17.38	18.42	16.41
HT_FPI	7.15	5.77	5.22	6.38	5.50	5.96	5.31	5.21	7.39	5.06
FPI_FPIRd	2.56	2.43	3.26	2.50	4.81	3.42	4.04	3.54	4.43	2.74
FPIRd_Dim	17.01	19.87	14.23	18.42	22.72	27.66	28.61	30.01	21.74	21.56
Dim_XRay	12.46	11.94	14.97	15.21	23.93	15.38	29.71	27.77	17.83	11.54
XRay_XRayRd	10.16	16.71	13.71	9.56	20.49	20.11	17.34	13.61	11.67	10.53
XRayRd_Mark	5.23	4.37	5.01	5.23	5.53	4.59	5.95	4.59	4.29	4.81
Mark_Audit	4.94	6.44	5.70	6.64	5.93	8.24	10.87	9.84	7.08	6.44

En donde:

- Finish_MFG: Es el tiempo promedio transcurrido entre finishing y manufactura dimensional.
- MFG_HT: Es el tiempo promedio transcurrido entre manufactura dimensional y ciclo térmico.
- HT_FPI: Es el tiempo promedio transcurrido entre ciclo térmico y FPI.
- FPI_FPIRd: Es el tiempo promedio transcurrido entre FPI y lectura de FPI.
- FPIRd_Dim: Es el tiempo promedio transcurrido entre lectura de FPI y dimensional.
- Dim_Xray: Es el tiempo promedio transcurrido entre dimensional y rayos-x.
- XRay_XRayRd: Es el tiempo promedio transcurrido entre rayos-x y lectura de rayos-x.
- XRayRd_Mark: Es el tiempo promedio transcurrido entre lectura de rayos-x y marcado.
- Mark_Audit: Es el tiempo promedio transcurrido entre marcado y auditoría final.

En la Tabla 5.2 se observa que las operaciones entre las que transcurren tiempos más largos son:

- Manufactura dimensional.
- Tratamiento térmico.
- Dimensional final.
- Rayos-X.

Estas operaciones se muestran en la Figura 5.7 marcadas con color rojo, de igual forma se hace referencia a los tiempos de espera entre estas operaciones:

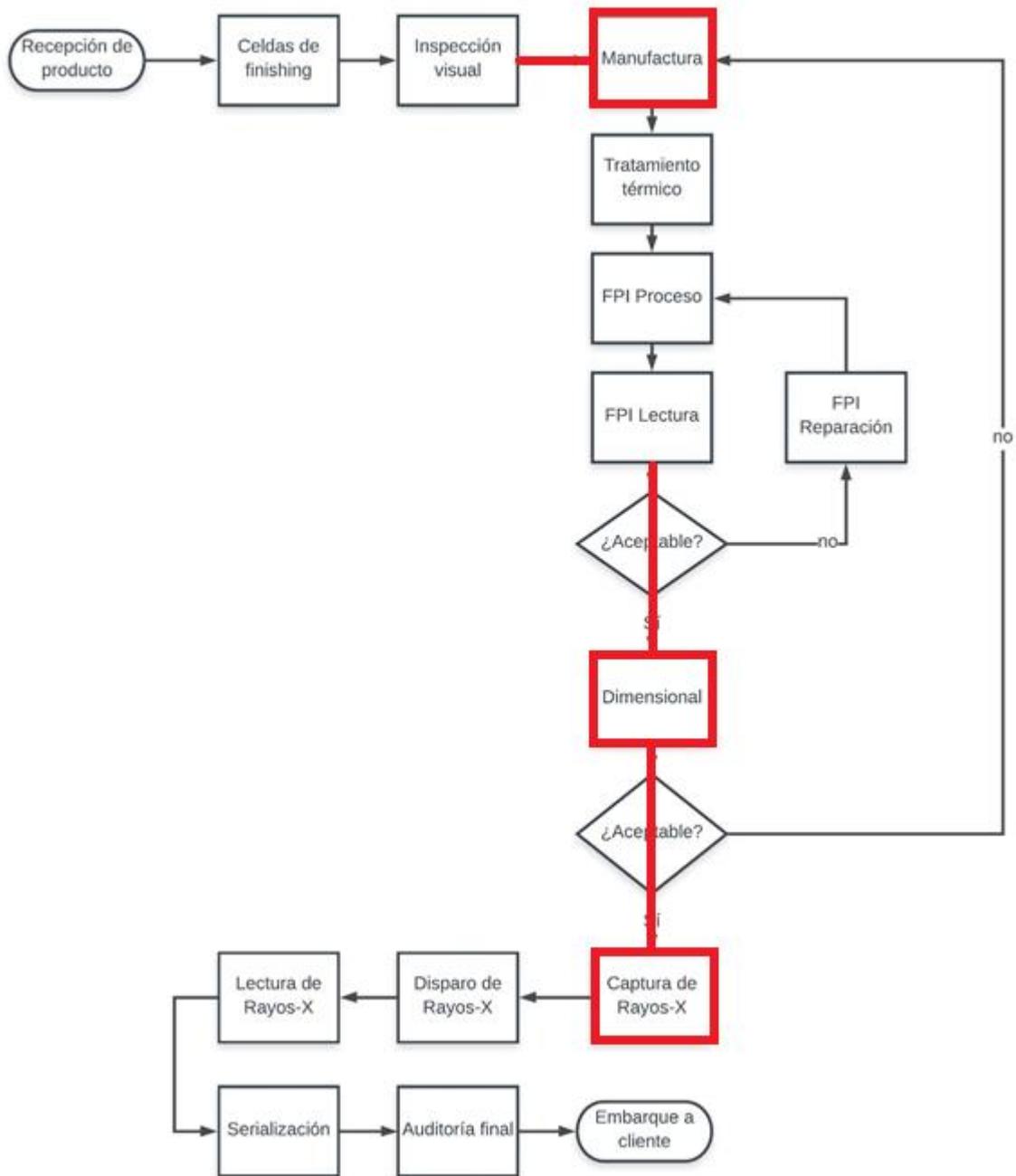


Figura 5.7. Operaciones con tiempos significativamente más largos

Los promedios de tiempos reales de proceso para cada producto se resumen en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Tiempo real promedio para completar el procesamiento de una pieza

Producto	Horas
Blade 11	115.04
Blade 12	100.75
Blade 13	97.54
Blade 41	124.77
Blade 42	176.85
Blade 43	156.57
Blade 84	143.6
Blade 85	139.21
Blade 86	125.96
Blade 14	93.89

Comparando los valores presentados en la Tabla 5.3 con los tiempos estándar mostrados en la Tabla 5.1, se puede apreciar que la diferencia es significativamente grande, y esto demuestra la existencia de largos tiempos de espera, improductivos, y que derivan en largos tiempos de ciclo (el cual se define como el tiempo que toma procesar una unidad, que es el tiempo transcurrido entre la primera actividad del proceso hasta la última para obtener el producto terminado), por lo que se vuelve necesario realizar un análisis de las operaciones para determinar cuáles son los factores que influyen más en el tiempo de procesamiento de estos productos.

En adición a esto, partiendo de los resultados obtenidos y utilizando información proporcionada por la empresa se construye la Tabla 5.4 con las principales operaciones y el tiempo que toma la realización de cada una:

Tabla 5.4. Duración ideal de las principales operaciones del proceso

Estación de trabajo (secuencia)	Definición de la actividad	Piezas / hora (por operador o equipo)	Número de operadores o equipos	Duración (min / pza)
1	Acabado e inspección visual	19.00	36	0.09
2	Manufactura dimensional	28.00	12.8	0.17
3	Ciclo Térmico	416.67	3	0.05
4	FPI Proceso	230.00	4	0.07
5	FPI Lectura	190.00	5	0.06
6	Dimensional (inspección)	39.00	9.2	0.17
7	Rayos-X Captura	140.00	4	0.11
8	Rayos-X disparo	63.00	11	0.09
9	Rayos-X lectura	188.00	4	0.08
10	Marcado	103.00	6	0.10
			Total	0.97

Dado que, según la teoría de restricciones, la capacidad está determinada por el tiempo más largo requerido para procesar una unidad de producción a través de todas las operaciones o estaciones de trabajo, para el proceso de producción de los productos Leap, los principales cuellos de botella vienen dados por las operaciones de manufactura dimensional e inspección dimensional.

De acuerdo con la Tabla 5.4, cada 0.97 minutos se debería obtener una pieza finalizada. En función de esto, se calculan los siguientes parámetros referentes al tiempo de ciclo, utilizando la Ecuación 2:

$$\text{Producción diaria máxima} = \frac{\text{Tiempo disponible por día}}{\text{Tiempo de ciclo por unidad}} \quad (2)$$

$$\text{Producción diaria máxima} = \frac{(24 \text{ horas/día})(60 \text{ minutos/hora})}{0.97 \text{ minutos /unidad}}$$

$$\text{Producción diaria máxima} = \frac{1,440}{0.97} = 1,464.54 \text{ unidades/día}$$

Tomando en cuenta que la proyección de la demanda para 2020 es de 1,030,000 piezas al año, que en ese año se tendrá 305 días laborales, se estima que, si se

mantienen los mismos niveles de productividad y recursos actuales, la producción total de la planta será de 1,464.54 *unidades/día* (305 *días laborales*) = 446,684.7 *unidades*, lo cual no satisface las necesidades del cliente. Dado que la configuración actual no es eficaz, con la Ecuación 3, se procede a calcular el tiempo de ciclo máximo permisible (*TCMP*) que logrará satisfacer las necesidades del cliente para ese año:

$$TCMP = \frac{\text{Tiempo disponible por día}}{\text{Número de unidades deseadas por día}} \quad (3)$$

$$TCMP = \frac{1,440}{(1,030,000/305)}$$

$$TCMP = 0.4264 \text{ minutos/unidad}$$

Lo cual indica que el tiempo de ciclo actual está muy por encima del tiempo de ciclo máximo permisible y este debe ser disminuido.

5.4. Análisis de las causas que limitan la productividad

Para identificar cuáles son los principales causantes de tiempos de espera e improductividad se procedió a realizar monitoreos en piso de producción, haciendo énfasis en las operaciones en las cuales fueron detectados los tiempos más largos: manufactura dimensional, ciclo térmico, e inspección dimensional final y rayos-x. Con esto se pretende identificar cuáles son los principales causantes de tiempos muertos en la operación.

Para complementar esta actividad, se realizó el mapa de la cadena de valor (*Value Stream Mapping*) que se presenta en la Figura 5.8 con los tiempos de proceso conocidos (proporcionados por la empresa, y obtenidos a partir de la toma de tiempos). Esta herramienta, permite visualizar el flujo de los productos y de la información hasta la finalización del requerimiento de producción, además, permite hacer la distinción entre las actividades que agregan valor al producto y las que no aportan. Es importante recalcar que, en algunos casos, como en las áreas de manufactura dimensional y dimensional final, dado que las operaciones comparten

los mismos equipos, la capacidad de una de las operaciones podrá ser incrementada a costa de disminuir la otra.

En el mapa de cadena de valor se puede observar que existen tiempos considerables, no sólo en las áreas en que el producto se encuentra en proceso, sino también mientras se encuentra entre operaciones, es decir, mientras está en cola o en tránsito a la siguiente operación.

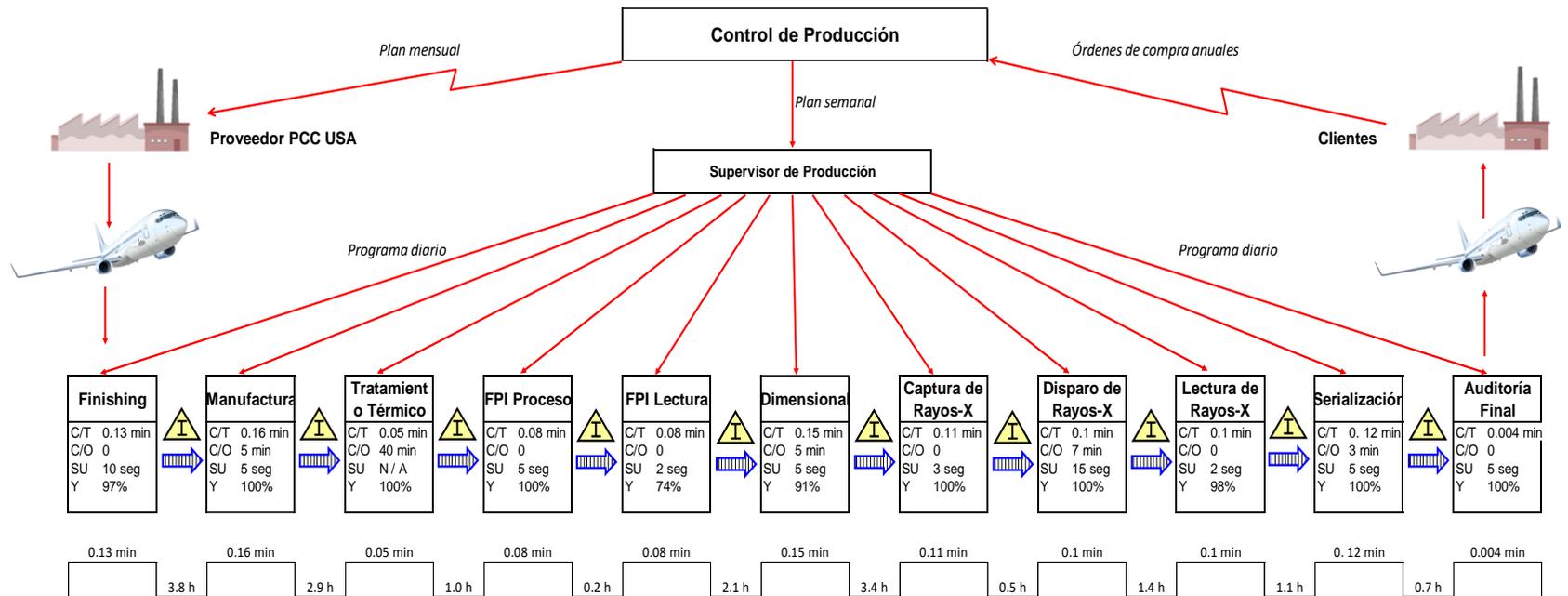


Figura 5.8. Mapa de la cadena de valor del proceso para los productos Leap (valores por pieza)

En donde:

- **C/T (cycle time):** tiempo de ciclo
- **C/O (change over time):** tiempo de cambio entre tipos de producto (alineaciones, cambio de herramientas de trabajo, etc.)
- **SU (set up time):** cambio de ítem, tiempo que transcurre ente la última pieza buena y la siguiente
- **Y (yield):** rendimiento, cuántas piezas pasan a la siguiente operación

Etapa 2

Continuando con el análisis, se procede a resumir la información obtenida de dialogar con el personal de Producción (coordinadores, supervisores, y personal operativo), la cual se presenta en el diagrama de Ishikawa de la Figura 5.9.

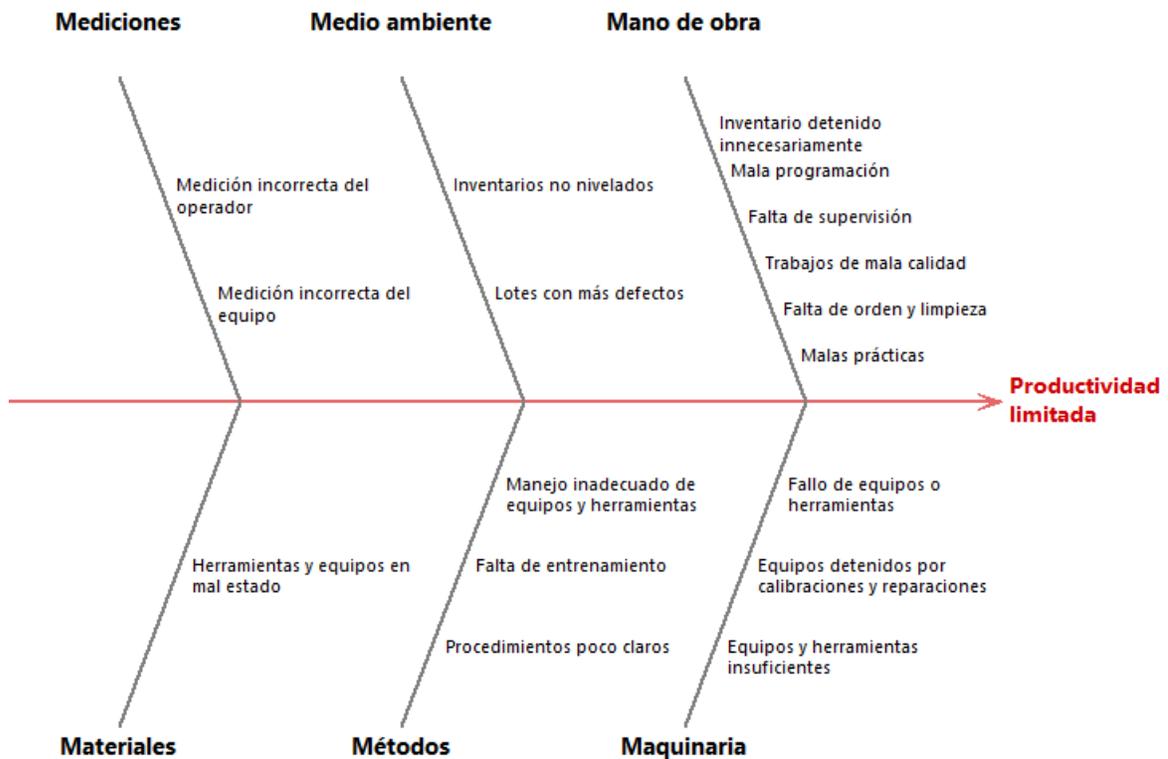


Figura 5.9. Diagrama de Ishikawa para identificar los factores que limitan la productividad del proceso, de acuerdo al personal

Para comprender mejor el problema y atacar las causas de mayor relevancia para el área de Producción, se consultó con personal del departamento de Producción de la planta y se solicitó que, de acuerdo a su experiencia, asignaran una calificación a cada una de las causales identificadas, según su nivel de impacto a la productividad, con una escala Likert del 1 al 5, en donde 1 significa bajo impacto y 5 significa alto impacto, con la finalidad de cuantificarlas y detectar cuáles son las causas que afectan más significativamente la operación, de acuerdo a su experiencia. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5. Causas de la baja productividad ordenadas de mayor a menor afectación, de acuerdo al departamento de Producción

Causa	Coord. 1	Coord. 2	Superv. 1	Superv. 2	Superv. 3	Total	Porcentaje	
Inventario detenido innecesariamente (malas prácticas)	5	4	5	4	5	23	11.22%	
Falta de orden y limpieza	5	4	4	4	3	20	9.76%	
Equipos y herramientas insuficientes	4	4	4	4	4	20	9.76%	
Equipos detenidos por calibraciones y reparaciones	3	4	3	4	4	18	8.78%	
Inventarios no nivelados (distribución de producto)	4	3	4	2	4	17	8.29%	
Lotes con más defectos	3	3	4	2	3	15	7.32%	
Equipos detenidos por distracción del personal	2	3	3	2	3	13	6.34%	
Trabajos de mala calidad	2	3	3	2	2	12	5.85%	
Mala programación	3	1	2	3	2	11	5.37%	
Falta de supervisión	2	2	1	3	1	9	4.39%	
Manejo inadecuado de equipos y herramientas	2	2	1	1	2	8	3.90%	
Fallo de equipos o herramientas	1	2	2	1	2	8	3.90%	
Procedimientos poco claros	1	1	3	1	1	7	3.41%	
Falta de entrenamiento	1	1	2	2	1	7	3.41%	
Medición incorrecta del equipo	1	1	1	2	1	6	2.93%	
Herramientas y equipos en mal estado	1	1	1	2	1	6	2.93%	
Medición incorrecta del operador	1	1	1	1	1	5	2.44%	
						Total	205	100.00%

En el diagrama causal de la Figura 5.9 y en la Tabla 5.5 se observa que las principales afectaciones a la productividad de la planta son:

1. Inventario detenido innecesariamente (malas prácticas):

Mediante la observación del personal de las áreas de Acabado, Manufactura y Dimensional Final se detectó que existe una mala práctica del personal operativo que afecta el flujo de producto y que se encuentra generalizadas en los trabajadores de estas operaciones, que consisten en que el personal retiene el producto ya trabajado o inspeccionado hasta juntar cantidades “grandes” de piezas, para así llevarlo a la siguiente operación. Se dialogó con los líderes operativos de estas áreas y argumentaron que realizan esto para “disminuir el número de vueltas que dan” y aumentar su productividad, pero no son conscientes de la afectación que esto genera en operaciones subsecuentes al no mantener el flujo de producto. Estos tiempos de espera entre operaciones, de acuerdo con la información presentada en el mapa de cadena de valor, son los que aportan la mayor cantidad de tiempo de procesamiento y que no agregan valor alguno al producto.

2. Falta de orden y limpieza:

Es importante recalcar que en la planta Mérida se procesan más de 250 números de partes diferentes simultáneamente y se tienen inventarios de alrededor de 100,000 piezas distribuidas en todas las operaciones, por lo que el orden es un factor clave para facilitar el movimiento y procesamiento de producto. El orden y limpieza de las áreas de procesamiento se vuelve sumamente importante, ya que la planta utiliza racks móviles para transportar el producto entre áreas, como el que se muestra en la Figura 5.10, y racks fijos para colocar el producto en espera de ser procesado. Se utilizan bandejas que, dependiendo del tamaño del producto que estén transportando, pueden almacenar entre 2 y 80 piezas. No es extraño encontrar charolas con piezas que están en la operación equivocada o que están revueltas con otras piezas, lo que afecta directamente la productividad del personal, pues el procesamiento de producto se realiza por número de serie, por lo que tener piezas que no corresponden a una operación implicará destinar tiempo a identificarlas, separarlas, y moverlas a la operación correspondiente, labor que se dificulta cuando la cantidad de piezas en la charola es grande.



Figura 5.10. Ilustración de los racks y las bandejas utilizadas en la planta

3. Equipos y herramientas insuficientes:

Existe un problema relacionado a la falta de equipos para el procesamiento de este producto, especialmente de los Gages, equipos de medición utilizados en las

operaciones de manufactura dimensional e inspección dimensional final para medir las dimensiones de las piezas. La problemática es compleja debido a que, aunque se tienen personal suficiente para mantener un buen flujo de producto, las complicaciones se presentan dependiendo del inventario de producto disponible proporcionado por las plantas de Estados Unidos. La familia de productos Leap tiene 10 números de parte diferente y cada uno de ellos utiliza equipos con características diferentes (por ejemplo, el gage que mide al Blade 11 no se puede utilizar para medir un Blade 12), por lo que, a pesar de contar con más de 22 equipos, únicamente se tienen entre 2 y 3 gages por número de parte.

La situación se presenta en los periodos cuando la distribución de inventario alimentada por Estados Unidos no está nivelada y en lugar tener material suficiente para procesar todos los productos y ocupar todos los equipos, se tiene exceso de un único número de parte causando saturación de los pocos equipos que pueden procesarlo, grandes inventarios en cola, y dejando al resto de los equipos y del personal sin material para trabajar, por lo que a pesar de tener la mano de obra disponible y la capacidad en la operación, se desperdician recursos al no contar con gages suficientes. Aunado a esta problemática se tiene el hecho de que las operaciones de manufactura dimensional e inspección dimensional final utilizan los mismos gages para procesar el producto, por lo que no sólo se tienen equipos insuficientes para una misma operación, sino que además es necesario compartirlos con otra operación, lo que dificulta calcular la capacidad real de la operación. Este es uno de los factores que más contribuye a que se tengan elevados tiempos de espera

4. Equipos detenidos por calibraciones y reparaciones:

El departamento de Producción ha observado que se tiene un problema por la falta de comunicación, coordinación, y seguimiento entre los departamentos de Calibraciones y Producción al momento de retirar equipos de medición de piso para someterlos a calibraciones programadas. En general el área de Producción no da un correcto seguimiento y no se toman medidas precautorias para el momento en

que no se cuente con los equipos en piso de producción (principalmente porque el departamento de Calibraciones coloca una etiqueta en los equipos con la fecha de la próxima calibración pero el departamento de Producción no tiene manera de consultar las fechas de vencimiento próxima ya si no es físicamente en la etiqueta, lo que dificulta el seguimiento), de igual forma, dadas las complicaciones que se pueden dar durante las calibraciones de los equipos, el tiempo que éstas duran puede variar desde un turno de producción a incluso dos semanas, situación que tampoco reporta el departamento de Calibraciones. Algunos problemas comunes que afectan directamente la producción son:

- El departamento de Calibraciones toma un equipo sin ser del conocimiento del área de Producción, se programa el uso del equipo y no es hasta que un operador reporta que no encuentra el equipo cuando se cae en cuenta de que este está en calibraciones. Se tiene tiempo improductivo mientras el operador busca el equipo y en lo que el supervisor reasigna una tarea o un producto diferente a este personal.
- Un equipo ya calibrado es regresado a piso de producción sin avisar, por lo que pueden pasar varios días hasta que el personal se da cuenta de que ya se tiene el equipo nuevamente.
- Se tienen problemas en la calibración de un equipo y se queda rezagada, causando que pasen largos periodos de tiempo hasta que el equipo sea calibrado y liberado.

Eta 3

5.5. Propuesta de rediseño de actividades y procedimientos

Partiendo de las causas raíz detectadas en el análisis realizado, se realizaron las propuestas para su eliminación que se presentan a continuación.

Para la valoración de las soluciones propuestas, estas se evaluaron tomando en cuenta el beneficio que aportan, su viabilidad, así como también los costos que involucraría su implementación.

Disminución del inventario detenido innecesariamente (malas prácticas):

Pierce, Snow, & McAfee (2015) mostraron cómo el monitoreo adecuado de los empleados puede llevar a una reducción en las malas prácticas del personal y a un aumento de la productividad de este. Es por esto que, para evitar que el personal acumule grandes cantidades de producto inspeccionado antes de ser llevado a las siguientes operaciones, se propone comenzar a monitorear la frecuencia de liberación de producto como parte de las actividades de supervisión, de tal manera que se pueda tener un flujo constante en la producción hora con hora y de esta forma evitar picos a la mitad del turno y al final del mismo como se observa en la Gráfica 5.3.

Gráfica 5.3. Comportamiento actual en la liberación de producto



Fuente: elaboración propia.

La Gráfica 5.3 muestra en el eje Y el número de piezas, mientras que el eje X señala la hora del día en que este producto ha sido liberado. Cabe recalcar que el horario del primer turno finaliza a las 15 horas y el horario del segundo turno termina a las 23 horas.

Actualmente existen archivos de seguimiento a la producción, pero estos no permiten visualizar de manera detallada el flujo de la liberación de producto. Realizando algunas modificaciones al archivo empleado actualmente se puede conseguir información adecuada para alimentar una gráfica como la que se presenta en la Gráfica 5.3 de tal manera que se cuente con una herramienta sencilla de monitoreo.

Como se mencionó anteriormente, se ha observado que el problema de flujo de producto se debe principalmente a que el personal operativo, en un intento de maximizar la producción de su operación evita detenerse para llevar el producto a la siguiente operación, lo que puede aparentar ser benéfico para la misma operación, pero causar problemas en las áreas posteriores al quedarse sin producto para procesar en varias ocasiones durante el día. Para mitigar esta situación se propone la contratación de personal para cada área dedicado al movimiento de producto entre operaciones, lo cual tendría dos ventajas:

1. Mejorar el flujo de producto entre operaciones al tener personal dedicado exclusivamente para esto.
2. Sacar un mejor provecho del personal capacitado para realizar tareas que requieren un mayor grado de entrenamiento al dedicarlo exclusivamente a la realización de operaciones con un mayor grado de complejidad.

Esto no sólo mejoraría el flujo de producto y la logística entre operaciones sino también aumentaría la productividad del personal y la capacidad de operación al aplicar el tiempo de estos trabajadores en tareas que agregan valor al producto.

Mejora en el de orden y limpieza:

Debido al creciente volumen de producto que se maneja en la planta, en el pasado se determinó mejorar el traslado de producto entre áreas así como su almacenamiento mientras espera ser procesado, es así como se propuso el uso de racks móviles y bandejas para transportar el producto dentro de la planta, sin embargo, con forme la producción fue incrementando esto método dejó de ser

completamente eficiente al no mantener orden en el producto tal y como se observa en la Figura 5.11.



Figura 5.11. Ilustración actual del transporte y almacenamiento de producto dentro de la planta

En la Figura 5.11 se aprecia que se tienen diferentes números de parte en cada nivel del rack y a simple vista no es posible saber hacia qué área se dirigen las piezas, si todo el producto se dirige hacia la misma área, o si se encuentran en la operación correcta. Siguiendo la recomendación de Arslankaya & Atay (2015), que aplicaron diferentes técnicas de manufactura esbelta en un taller, entre las que se encuentran la identificación, etiquetado, y señalización de estantes con la finalidad de facilitar a los empleados el acceso al material que buscan, de esta forma, el personal puede encontrar fácilmente los productos que necesitan sin necesidad de invertir más tiempo que el necesario, lo que conlleva a la reducción de tiempos improductivos así como a la disminución en los costos que derivan de esto. Adicionalmente, se ha notado que cuando se tienen estantes bien identificados, los trabajadores no sólo encuentran más fácil los productos que necesitan, sino que además se motivan a ordenar y mantener ordenados los artículos almacenados (Omogbai & Salonitis, 2017).

Partiendo de lo expuesto se propone establecer un mecanismo de identificación de los racks que permita identificar fácilmente la operación a la que corresponden, el cliente, la familia de producto, y en casos particulares como los productos Leap que cuenta con el mayor volumen de piezas, el número de parte. Para esto se propone adaptar a cada rack un letrero con esta información como se muestra en la Figura 5.12.



Figura 5.12. Propuesta de identificación de racks

Cabe recalcar que, en parte, este proceso de orden y clasificación no se realiza actualmente porque el personal que traslada el producto es el mismo que realiza la operación de origen y es muy frecuente que, con tal de no invertir más tiempo en actividades que no aporten a la producción, no se dedique el tiempo suficiente a colocar el producto en los lugares a los que corresponde perdiendo de esta forma el orden. Es por esto que al implementar las acciones del punto anterior y contratar personal dedicado exclusivamente al movimiento del producto se pueden destinar más recursos a la organización y clasificación de producto para mantenerlo en estado óptimo durante su transporte y almacenamiento dentro de la planta.

Con este cambio se estima que, de los cuatro minutos dedicados cada dos horas al movimiento y acomodo de producto en las áreas de manufactura dimensional e

inspección dimensional final, este se puede reducir a medio minuto cada hora, ahorrando 3 minutos cada dos horas y 11.5 minutos por turno, lo que para un turno de 8 horas (450 minutos sin considerar media hora de comida) esto puede representar una mejora en la productividad del 2.4% únicamente mediante el orden y limpieza.

Disminución de equipos detenidos por calibraciones y reparaciones:

El principal problema relacionado a las calibraciones y las reparaciones es la falta de planeación, así como la falta de comunicación entre el departamento de Calibraciones y el de Producción. Se propone implementar un plan de calibraciones (a manera de plan de mantenimiento) en el que se establezcan los tiempos promedio de calibración por equipo, así como las fechas en que los equipos serán retirados de uso para tener fechas tentativas en que serán regresados a piso de producción. Con esto se espera eliminar uno de los principales problemas del área de calibraciones que se da cuando vence la calibración de varios equipos en la misma fecha.

De igual forma, se propone que mes con mes se informe sobre las calibraciones correspondientes para que el área de producción pueda estar al tanto de los equipos que vencen y tomar medidas de acuerdo con esto. Como señala Singh, Gohil, Shah, & Desai (2013) la correcta implementación de un plan de mantenimiento, o en este caso de calibraciones, puede lograr que los equipos estén disponibles la mayor cantidad de tiempo posible, tener un costo de mantenimiento óptimo, mejorar la confiabilidad del equipo, disminuir las fallas y asegurar la disponibilidad de refacciones en cualquier momento.

En referencia al problema de las reparaciones, estas se dan cuando los equipos son dañados durante su operación, causando atrasos en la producción. Para minimizar la ocurrencia de estos y mejorar el desempeño de los equipos, se propone implementar la cultura del *Total Productive Maintenance* (TPM) para las reparaciones efectuadas por el departamento de calibraciones, que consiste

esencialmente en un enfoque que apunta a identificar los problemas tan pronto como sea posible, y planea prevenir los fallos antes de que ocurran (Kiran, 2016). Es importante resaltar que el TPM es una extensión del *Total Quality Management* (TQM). Según Kiran (2016), el concepto de TPM involucra los siguientes puntos:

- Maximizar la efectividad de los equipos.
- Establecer un sistema de mantenimiento preventivo minucioso que abarque toda la vida útil del equipo.
- Involucrar no únicamente al departamento de mantenimiento sino al personal operativo, de ingeniería, etc.
- Promover el mantenimiento preventivo de los equipos a través de la promoción de éste.

Para lograr la implementación del TPM, es importante destacar los ocho pilares de este enfoque en los que Kiran hace énfasis:

1. Enfoque de mejora: orientado hacia la mejora continua, incluso en los pequeños aspectos.
2. Mantenimiento preventivo: enfocado en incrementar el tiempo operativo del equipo y en reducir los fallos.
3. Control inicial: establece el sistema para iniciar la producción con un tiempo mínimo de arranque o alineación del equipo.
4. Educación y entrenamiento: formación de trabajadores autónomos con habilidades y aptitudes que les permitan realizar un mantenimiento autónomo de los equipos.
5. Mantenimiento autónomo: permite que el personal mismo pueda dar mantenimiento y hacer reparaciones menores el equipo.
6. Mantenimiento de calidad: establece las condiciones óptimas en las que la máquina disminuye el riesgo de fallos.
7. Administración del TPM: para lograr que se elimine todo tipo de pérdidas.
8. Seguridad, higiene y medio ambiente: uno de los principales objetivos es crear un lugar de trabajo seguro en donde no ocurran accidentes.

Adquisición de equipos y herramientas:

Para dar solución al faltante de equipos es necesario realizar un análisis de las operaciones que intervienen en el proceso de manufactura para identificar las restricciones y cuellos de botella. Como se presentó anteriormente en la Tabla 5.4, las operaciones con mayor tiempo de procesamiento son la manufactura dimensional y la inspección dimensional final, las cuales representan las principales áreas de interés, sin embargo, esta información no indica si estas son las únicas operaciones que representan cuellos de botella, ya que, a pesar de ser las que consumen un mayor tiempo de procesamiento, no necesariamente son las únicas que representan restricciones para la producción. Para atacar el problema de la falta de equipos se recurre a la aplicación de la Teoría de Restricciones de Elihayu M. Goldratt.

5.5.1. Aplicación de la Teoría de Restricciones

1. Identificar la restricción

Para determinar cuáles son las restricciones actuales, se procedió a realizar un análisis de la capacidad teórica actual por operación, siguiendo una metodología similar a la que utilizaron Okutmuş, Kahveci, & Kartašova (2015), empleando los recursos asignados actualmente a estas piezas, tomando en cuenta la cantidad de personal disponible, los rendimientos observados, así como la cantidad de piezas que se espera que cada operador o equipo procese durante un turno de trabajo. Se incluyó el comparativo con el volumen de producto que se requiere procesar de acuerdo con la demanda del cliente. Para realizar este análisis es necesario definir los conceptos principales que fueron utilizados y cómo fueron calculados y empleados:

El *yield* o rendimiento de una operación se refiere a la relación entre el producto aceptable o potencialmente aceptable (retrabajable), con respecto del total del producto, y se puede calcular de manera global para todo el proceso o

específicamente para cada operación. El complemento del *yield* es la fracción rechazada de producto no conforme que no puede ser reparado (*scrap*).

Para el cálculo del *yield* se solicitó acceso a la base de datos de la empresa y a través de la programación en SQL Server Management Studio (SSMS) se recuperó y agrupó la información por cada proceso. Los datos se presentan de manera condensada y similar a como se muestra en la

Tabla 5.6.

Tabla 5.6. Ejemplo de información recabada de la base de datos en piezas (fragmento)

Operation	Good	Rework	Scrap
CSTG FINISH & VISUAL INSP	12,805	0	351
MFG. GAGING	12,660	0	10
FINAL DIM. PER QEI	11,178	358	14
READ FPI PER QEI	10,030	2,537	198
READ FINAL X-RAY	10,855	0	173

Fuente: elaboración propia.

Tomando en cuenta esto, el *yield* se calculó con la Ecuación 4 para cada operación y producto:

$$Yield = \frac{Good + Rework}{Good + Rework + Scrap} \quad (4)$$

Con estos conceptos se procedió a realizar el cálculo de la capacidad teórica actual. A continuación, se ejemplifica cómo se realizaron estos cálculos, aplicando los conceptos a la operación de Celdas:

- Se dispone de 36 operadores de Celdas que trabajan los productos Leap, cada operador puede trabajar 19 piezas/hora, por lo que, en un turno de 8 horas, de las cuales 7.25 horas son efectivas (ya que el personal dispone de 30 minutos de comida, así como también se consideran en total 15 minutos para preparación de materiales a inicio de turno y limpieza del área al finalizar

el mismo) se obtienen 137.75 piezas. Esto quiere decir que, 36 operadores en una semana (6 días de trabajo) pueden procesar 29,754 piezas. Proyectando este número a 52 semanas, el resultado es de 1,547,208 piezas/año.

Para los volúmenes requeridos por operación, estos se calcularon de la siguiente forma, tomando como ejemplo la operación de Celdas:

- Se estima que para 2020 el requerimiento del cliente es de 1,030,000 piezas. De igual forma, al aplicar la Ecuación 4 con la información conocida del proceso, se sabe que el yield o rendimiento global esperado (considerado hasta esta operación) es de 91.01%, por lo que, se calcula que la cantidad necesaria a procesar para poder obtener el volumen requerido será igual a $1,030,000/0.910148=1,131,684$ piezas.

Una vez que se tiene toda la información, se compara con la demanda pronosticada para los próximos 7 años. Los resultados se muestran en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7. Resultados del análisis de la capacidad teórica actual

Operación	Capacidad actual	Volumen requerido							
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Celdas	1,547,208	662,529	967,974	1,131,684	1,164,645	1,175,633	1,197,607	1,214,088	1,226,174
Manufactura	839,654	695,675	1,016,401	1,188,301	1,222,911	1,234,448	1,257,522	1,274,827	1,287,518
Tratamiento térmico	1,885,000	694,862	1,015,214	1,186,913	1,221,483	1,233,006	1,256,053	1,273,338	1,286,014
FPI proceso	2,081,040	953,787	1,393,510	1,629,189	1,676,641	1,692,458	1,724,093	1,747,819	1,765,218
FPI lectura	2,148,900	953,787	1,393,510	1,629,189	1,676,641	1,692,458	1,724,093	1,747,819	1,765,218
FPI reparación	649,194	258,925	378,297	442,276	455,158	459,452	468,040	474,481	479,204
Dimensional	811,606	684,126	999,528	1,168,574	1,202,610	1,213,956	1,236,646	1,253,664	1,266,144
Rayos-X captura	1,393,392	624,615	912,580	1,066,921	1,097,996	1,108,354	1,129,071	1,144,609	1,156,003
Rayos-X	1,555,125	624,615	912,580	1,066,921	1,097,996	1,108,354	1,129,071	1,144,609	1,156,003
Rayos-X lectura	1,696,500	624,615	912,580	1,066,921	1,097,996	1,108,354	1,129,071	1,144,609	1,156,003
Serialización	1,397,916	603,000	881,000	1,030,000	1,060,000	1,070,000	1,090,000	1,105,000	1,116,000

Una vez más, los resultados muestran que los procesos que se encuentran más cerca de los requerimientos del cliente son las operaciones de Manufactura y Dimensional, lo que coincide con los tiempos más largos del proceso. Ambas operaciones involucran los mismos equipos, ya que, la operación de manufactura es la inspección preliminar dimensional en la cual se realizan reparaciones necesarias a las piezas, la operación de dimensional es la verificación de las dimensiones de las piezas después de haber sido reparadas. Esto coincide con lo observado en la experiencia.

2. Explotar la restricción efectivamente (operar la restricción a su máxima capacidad).

Las operaciones de Manufactura y Dimensional operan a máxima capacidad cuando se tiene saturación por grandes volúmenes de un mismo producto. Como se ha mencionado anteriormente, un inventario de producto con volúmenes muy grandes de un mismo número de parte representa un problema para la operación, ya que, si se tratara de el mismo volumen en cuestión distribuido entre diferentes productos, se puede procesar aprovechando todos los recursos disponibles, en cambio, si sólo se tiene un producto en específico, incluso teniendo personal suficiente, la cantidad de equipos disponibles es una limitante.

En este paso, cabe recalcar que actualmente las operaciones restricción identificadas trabajan 6 días a la semana, por lo que, a pesar de que actualmente estas actividades están siendo explotadas efectivamente como se menciona en el párrafo anterior (con respecto del tiempo que estas operan actualmente), existe la posibilidad de incrementar su capacidad al trabajar un día más a la semana. Por el momento, esta alternativa no se considerará, debido a que la Gerencia de la empresa no está de acuerdo con cambios de esta índole, por lo que se evaluará y se profundizará más en ella en la sección de discusiones.

3. Eliminar la restricción (aumentando su capacidad).

La falta de equipos, en definitiva, es un factor crucial que impide eliminar la restricción, para tener un mejor flujo de producto y menor acumulamiento en el área, ya que, no sólo se requieren los equipos para cubrir con la demanda mostrada en la Gráfica 5.1, sino también se requiere para poder dar respuesta inmediata cuando se presenten casos de órdenes de producción grandes.

Chase & Jacobs (2009) proponen los siguientes pasos para determinar la capacidad requerida:

1. Usar técnicas de pronóstico para prever las ventas de los productos individuales dentro de cada línea de productos.
2. Calcular el equipamiento y la mano de obra que se requerirá para cumplir los pronósticos.
3. Proyectar el equipamiento y la mano de obra que estará disponible durante el horizonte del plan.

Usando los pasos propuestos por Chase & Jacobs (2009), se determina que se conoce de primera mano el volumen de ventas requerido (de la estimación proporcionada por el cliente presentada en la Gráfica 5.1), de igual forma, se conocen los requerimientos por número de parte individual, por lo que se procede al cálculo del equipo requerido y se llega a los resultados presentados en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8. Resultados del cálculo de gages requeridos

Producto	Gages requeridos			Gages disponibles	Gages faltantes
	MFG	DIM	Total		
Blade 41	2	1	3	2	1
Blade 42	2	1	3	2	1
Blade 43	2	1	3	2	1
Blade 84	1	1	2	2	0
Blade 85	1	1	2	2	0
Blade 86	1	1	2	2	0
Blade 11	3	2	5	2	3
Blade 12	3	2	5	3	2
Blade 13	3	2	5	3	2
Blade 14	2	2	4	2	2

En la Tabla 5.8 se observa que para satisfacer la demanda proyectada en las áreas de Manufactura Dimensional y Dimensional Final es necesario incrementar la cantidad de estas operaciones en un 54.54% adquiriendo 12 equipos de medición (gages) más, adicionales a los 22 con los que se cuenta actualmente.

Con esta información, se procede a recalcular los tiempos de ciclo para visualizar los beneficios de llevar a cabo esta propuesta junto con las mejoras estimadas en el apartado 5.5. Los resultados se presentan en la Tabla 5.9.

Tabla 5.9. Duración de las principales operaciones del proceso con la adición de nuevos equipos de medición

Estación de trabajo (secuencia)	Definición de la actividad	Piezas / hora (por operador o equipo)	Número de operadores o equipos	Duración (min / pza)
1	Acabado e inspección visual	19.00	36	0.09
2	Manufactura dimensional	28.72	19.9	0.10
3	Ciclo Térmico	416.67	3	0.05
4	FPI Proceso	230.00	4	0.07
5	FPI Lectura	190.00	5	0.06
6	Dimensional (inspección)	40.00	14.1	0.11
7	Rayos-X Captura	140.00	4	0.11
8	Rayos-X disparo	63.00	11	0.09
9	Rayos-X lectura	188.00	4	0.08
10	Marcado	103.00	6	0.10
			Total	0.85

Al recalcular los tiempos de ciclo se observa que con la implementación de estas propuestas se puede disminuir el tiempo de ciclo total por unidad en un 12.37% en comparación con el tiempo actual de 0.97 min / unidad presentado en la Tabla 5.4.

En función del nuevo tiempo de ciclo obtenido, se calculan nuevamente los siguientes parámetros utilizando la Ecuación 2 presentada anteriormente:

$$\text{Producción diaria máxima} = \frac{\text{Tiempo disponible por día}}{\text{Tiempo de ciclo por unidad}}$$

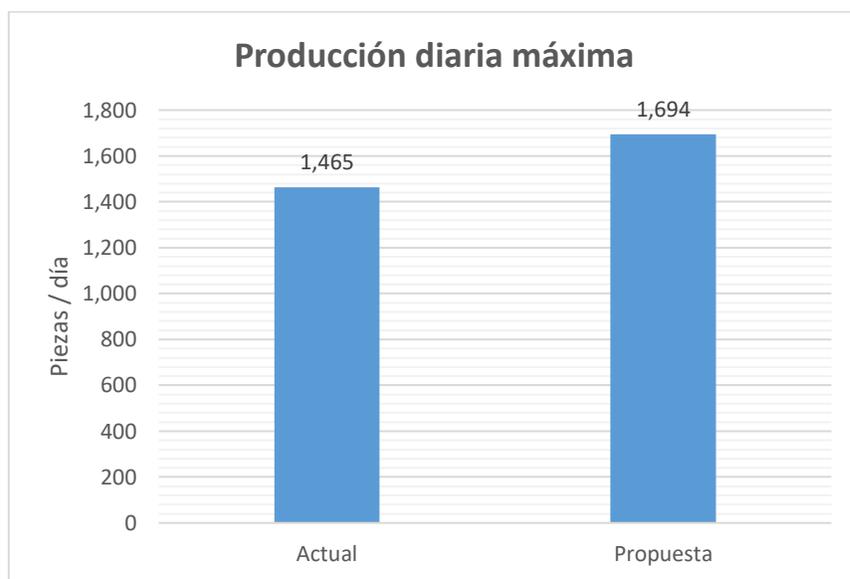
$$\text{Producción diaria máxima} = \frac{(24 \text{ horas/día})(60 \text{ minutos/hora})}{0.85 \text{ minutos /unidad}}$$

$$\text{Producción diaria máxima} = \frac{1,440}{0.85} = 1,694.12 \text{ unidades/día}$$

Comparando este resultado con el obtenido en el punto 5.3, se observa que la disminución del tiempo de ciclo se traduce en un incremento en la productividad de 229.58 unidades / día. La Gráfica 5.4 muestra la comparación de la producción

diaria máxima resultante de la implementación de la propuesta en contraste con el valor máximo actual.

Gráfica 5.4. Comparación de la producción diaria máxima actual y tras la implementación de la propuesta



La Gráfica 5.4 compara los valores máximos de la producción diaria actual con el resultado que se puede obtener tras la implementación de las propuestas realizadas. Se observa que existe un beneficio cuantificable tras su aplicación.

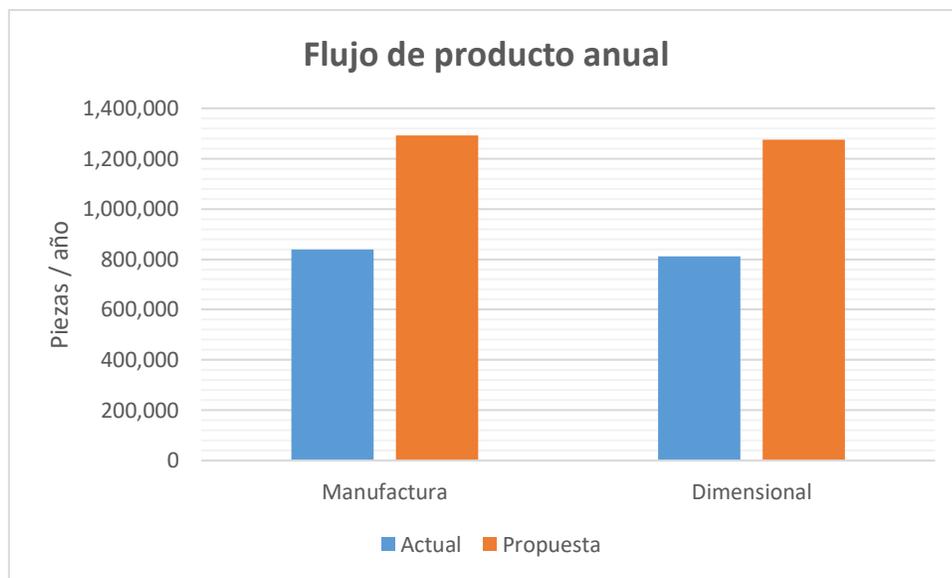
Siguiendo con el estudio, se verifica nuevamente la capacidad teórica como se presentó previamente en la Tabla 5.7. El resultado de los cálculos con la implementación de las propuestas se muestra en la Tabla 5.10.

Tabla 5.10. Capacidad teórica al aplicar las propuestas

Operación	Capacidad actual	Volumen requerido							
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Celdas	1,547,208	662,529	967,974	1,131,684	1,164,645	1,175,633	1,197,607	1,214,088	1,226,174
Manufactura	1,292,596	695,675	1,016,401	1,188,301	1,222,911	1,234,448	1,257,522	1,274,827	1,287,518
Tratamiento térmico	1,885,000	694,862	1,015,214	1,186,913	1,221,483	1,233,006	1,256,053	1,273,338	1,286,014
FPI proceso	2,081,040	953,787	1,393,510	1,629,189	1,676,641	1,692,458	1,724,093	1,747,819	1,765,218
FPI lectura	2,148,900	953,787	1,393,510	1,629,189	1,676,641	1,692,458	1,724,093	1,747,819	1,765,218
FPI reparación	649,194	258,925	378,297	442,276	455,158	459,452	468,040	474,481	479,204
Dimensional	1,275,662	684,126	999,528	1,168,574	1,202,610	1,213,956	1,236,646	1,253,664	1,266,144
Rayos-X captura	1,393,392	624,615	912,580	1,066,921	1,097,996	1,108,354	1,129,071	1,144,609	1,156,003
Rayos-X	1,555,125	624,615	912,580	1,066,921	1,097,996	1,108,354	1,129,071	1,144,609	1,156,003
Rayos-X lectura	1,696,500	624,615	912,580	1,066,921	1,097,996	1,108,354	1,129,071	1,144,609	1,156,003
Serialización	1,397,916	603,000	881,000	1,030,000	1,060,000	1,070,000	1,090,000	1,105,000	1,116,000

En la Tabla 5.10 se observa que con la adquisición de los equipos y la aplicación de las propuestas se puede incrementar la capacidad de las operaciones que representan los cuellos de botella (manufactura e inspección dimensional) en un 53.94% y 57.18% respectivamente, eliminando con esto los cuellos de botella, y logrando satisfacer la demanda del cliente.

Gráfica 5.5. Comparación de las capacidades de procesamiento en las operaciones cuello de botella, valores actuales y tras implementación de la propuesta



En la Gráfica 5.5 es posible observar que hay diferencia sustancial entre los valores actuales del flujo de producto en las operaciones críticas y los que se pueden obtener como resultado de la propuesta de adquisición de equipos, que permitiría eliminar los principales cuellos de botella del proceso.

CAPÍTULO 6. DISCUSIONES

Este trabajo tuvo como propósito realizar el diseño de una propuesta que permitiera aumentar la productividad de una maquiladora de componentes de turbinas de avión. Se pretendió abordar las principales problemáticas que afectan los niveles de producción. Se logró identificar cuáles son las principales causas de afectación a la productividad, así como también se realizó una serie de propuestas para su mitigación. A continuación, se discuten los principales hallazgos de este estudio:

En contraste con los tiempos estándar de proceso de una pieza que la empresa ha establecido, los cuales son menores a una hora, se encontró que el tiempo de procesamiento promedio de una pieza es mucho mayor al definido, pudiendo tomar más de 170 horas el llevar una unidad desde la actividad inicial hasta el momento en que se empaca y se prepara para vender al cliente. Se identificó que el tiempo efectivo invertido en una pieza es de 0.97 minutos, por lo que, al compararlo con el tiempo real de procesamiento, se encontró que existe una gran afectación al proceso debido a largos tiempos improductivos y de espera, que derivan en largos tiempos de ciclo.

Partiendo de este análisis, se procedió a encontrar las principales causas de ineficiencia en la operación actual que afectan los tiempos de procesamiento, las cuales, se identificaron mediante el diálogo con el personal (coordinadores y supervisores de producción, así como personal operativo), así como también mediante la observación y monitoreo de las actividades realizadas en piso de producción en las diferentes áreas de proceso, especialmente las de mayor afectación. Las causas identificadas y las propuestas de solución se presentan en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Principales causas de ineficiencia en la producción identificadas y propuestas de solución

Principales causas de ineficiencia en la producción identificadas			
Causa 1	Propuesta de solución 1	Causa 2	Propuesta de solución 2
Inventario detenido innecesariamente por malas prácticas, retención de producto y afectación al flujo de este.	Monitoreo en la liberación del producto y movimiento a las siguientes operaciones. Creación de archivos de supervisión y monitoreo hora por hora y contratación de personal para movimiento de producto.	Falta de orden y limpieza en el acomodo de producto que rezaga el producto y atrasa su procesamiento.	Establecer identificación de los racks de transporte y almacenamiento de producto para no mezclar diferentes números de parte correspondientes a procesos diferentes.
Causa 3	Propuesta de solución 3	Causa 4	Propuesta de solución 4
Equipos y herramientas insuficientes para procesamiento del producto. Producto permanece en cola por largos tiempos.	Aplicación de la Teoría de Restricciones para identificar cuellos de botella y determinar qué equipos adquirir y en qué cantidad.	Equipos detenidos por calibración y reparaciones. No se cuenta con todos los equipos disponibles en piso de producción.	Implementación de la cultura del <i>Total Productive Maintenance</i> , así como mejorar la comunicación interdepartamental mediante el uso de controles y notificaciones.

Cabe recalcar que, a pesar de que se identificaron otras causas además de las presentadas en la Tabla 6.1, el criterio de acotamiento a las de mayor impacto en la productividad se realizó mediante el uso de una escala Likert, cuyos resultados se obtuvieron mediante encuestas a los responsables de las diferentes áreas de Producción afectadas. Se decidió utilizar este método de evaluación de su impacto ya que, debido a la naturaleza de los procesos en cuestión y las causas identificadas, es difícil identificar el grado de impacto individual que causa cada una de éstas. Para trabajos futuros, se recomienda complementar el proceso de cuantificación del impacto de cada causa mediante un análisis de riesgo, de tal manera que no únicamente se trabaje sobre las causas que tengan los mayores efectos sobre la producción sino también se evalúen desde un enfoque de probabilidad de ocurrencia.

En general, las propuestas se engloban en dos grupos:

- Mejora continua y buenas prácticas (propuestas 1, 2, y 4).
- Adquisición de equipos (propuesta 3).

Como parte de la propuesta número uno, se planteó la contratación de personal dedicado exclusivamente al movimiento de producto de una operación a la siguiente, esto debido a que actualmente, el personal operativo que realiza las inspecciones y el procesamiento de las piezas es el encargado de mover el producto a la siguiente operación una vez que éste ha sido trabajado. La desventaja que presenta el método actual es que, se tiene personal que ha pasado por un largo proceso de entrenamiento y capacitación realizando actividades que no requieren de una mayor preparación o calificación, causando que se invierta tiempo en estas actividades que no agregan valor al producto en lugar de mantener a este personal dedicado exclusivamente al procesamiento e inspección de producto para sacar el mayor provecho posible a su entrenamiento.

Se plantea contratar personal que no requiere más que un proceso de inducción para que pueda realizar la actividad de movimiento de producto entre operaciones, maximizando el tiempo operativo del personal entrenado. Se descarta la opción de la implementación de bandas transportadoras ya que el proceso actual está configurado de tal manera que las actividades se desarrollan en un esquema de producción de tipo taller, al trabajar con más de 300 números de parte, las secuencias de procesamiento no son iguales para todos los productos, por lo que las áreas de trabajo no están distribuidas de una manera secuencial, dificultando el establecimiento de rutas para las bandas transportadoras. Para futuros trabajos, se deja abierta la posibilidad de evaluar la reconfiguración del *layout* de las áreas y actividades del proceso actual evaluando la factibilidad de establecer una única secuencia de procesos que permita llegar al nivel de automatización del transporte del producto dentro de la planta.

Para el caso de la adquisición de equipos, se identificaron los cuellos de botella del proceso y se encontró que estos son las operaciones de manufactura dimensional y la inspección dimensional final, esto se realizó mediante la aplicación de la Teoría

de Restricciones. Se determinó que para eliminar esta restricción se tienen dos alternativas:

1. Adquisición de equipos únicamente:

Esta alternativa contempla únicamente la adquisición de los equipos necesarios para incrementar la capacidad de estas operaciones, dejando de lado cualquier tipo de reestructuraciones referente a la cantidad de días laborados a la semana.

2. Implementación de trabajo dominical y complementar con adquisición mínima de equipos:

Esta opción plantea que, para el incremento de la capacidad de estas operaciones, primeramente, se amplíe la cantidad de días laborados en estas operaciones, ya que, actualmente, el domingo es día de descanso para los operadores. Con el hecho de operar los equipos por 24 horas más a la semana se tiene un incremento de 1/6 de la capacidad, que representa un aumento del 16.67% para estas operaciones, al aumentar el tiempo productivo de los equipos. Con esto, la cantidad de equipos adicionales requeridos sería menor, requiriendo una inversión menor, pero habría que contemplar la contratación de personal para cubrir descansos, así como también se tendría que realizar el pago de primas dominicales.

De acuerdo con la metodología de la Teoría de Restricciones, para explotar efectivamente la restricción y operarla a máxima capacidad, se tendría que optar por la alternativa número dos e implementar el trabajo dominical en estas operaciones, sin embargo, actualmente, la Gerencia de la planta está enfocándose en reducir la cantidad de tiempo extra y descansos laborados del personal, por lo que ampliar la cantidad de días laborados en estas operaciones se descartó. Se procedió a trabajar bajo la premisa de que las restricciones se están explotando de acuerdo con el tiempo laborado actualmente.

Cabe recalcar que, a pesar de que en este trabajo no se incluyó un análisis de costos para las propuestas presentadas, es de suma importancia que en trabajos futuros se realice, ya que la decisión sobre la aplicación de las propuestas

generadas se verá influenciada no sólo por los resultados de las mismas, sino por la inversión que la empresa deberá realizar.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

La aplicación de las metodologías propuestas basadas en la literatura logró cumplir tanto el objetivo general como los objetivos específicos:

Se logró realizar un diagnóstico de la situación actual en referencia a los tiempos de proceso de los productos Leap, en donde se detectó que, a pesar de que la sumatoria de tiempos efectivos de procesamiento para cada pieza es de 0.97 minutos por unidad, el tiempo real de procesamiento en promedio se encuentra entre 93 y 174 horas dependiendo del producto en cuestión.

Se pudo identificar las principales causas de ineficiencia en la operación actual, entre las que se encontraron las malas prácticas del personal que afectan el flujo de producto al no moverlo a las siguientes operaciones, la falta de orden y limpieza en los espacios de trabajo y almacenamiento de producto en proceso, la cantidad de equipos y herramientas que resultaron insuficientes en operaciones críticas, y la falta de comunicación entre los departamentos de Calibraciones y Producción.

Por último, con base en los hallazgos del trabajo se realizó una serie de propuestas que a través de su aplicación permitieran disminuir el impacto de las principales causas de ineficiencia identificadas. Las propuestas realizadas se clasificaron en dos grupos: “mejora continua y buenas prácticas”, y “adquisición de equipos”. Se logró determinar que mediante la implementación de estas propuestas es posible disminuir el tiempo de ciclo del proceso actual en más de 12% alcanzando un valor de 0.85 minutos por unidad, esto se traduce en un aumento de la producción (al pasar de una producción diaria máxima de 1464.54 unidades/día a 1,694.12 unidades/día). De esta misma forma se logra eliminar los principales cuellos de botella que restringen la capacidad y el flujo de producto en las operaciones críticas del proceso.

Referencias

- Abedinnia, H., Glock, C. H., & Schneider, M. D. (2017). Machine scheduling in production: A content analysis. *Applied Mathematical Modelling*, 279-299.
- AIRBUS. (09 de Junio de 2018). *Global Market Forecast 2017 - 2036*. Obtenido de <http://www.airbus.com/aircraft/market/global-market-forecast.html>
- Arango-Serna, M. D., Campuzano-Zapata, L. F., & Zapata-Cortes, J. A. (2015). Mejoramiento de procesos de manufactura utilizando Kanban. *Revistas Ingeniería Universidad de Medellín*, 221-234.
- Arslankaya, S., & Atay, H. (2015). Maintenance management and lean manufacturing practices in a firm which produces dairy products. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 214-224.
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la Investigación*. Bogotá: Pearson.
- Bloomberg. (12 de 09 de 2018). *A Bottleneck Over an Engine Part Turns Jets Into 'Gliders'*. Obtenido de <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-09-11/buffett-s-bottleneck-on-jet-engine-blades-crimps-boeing-airbus>
- Castro Monge, E. (2010). El estudio de casos como metodología de investigación y su importancia en la dirección y administración de empresas. *Revista Nacional de Administración*, 31-54.
- CFM International Jet Engines. (12 de Agosto de 2018). *Leap Engines*. Obtenido de <https://www.cfmaeroengines.com/engines/leap/>
- Chase, R. B., & Jacobs, F. R. (2009). *Administración de Operaciones. Producción y Cadena de Suministros*. México, D.F.: McGraw-Hill.
- Chen, J., Chen, T.-L., & Harianto, H. (2017). Capacity planning for packaging industry. *Journal of Manufacturing Systems*, 153-169.
- Cuatrecasas, L. (2012). *Organización de la producción y dirección de operaciones: Sistemas actuales de gestión eficiente y competitiva*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Engineers Edge. (2018). *Heat Treatment - Stress Relieving*. Obtenido de https://www.engineersedge.com/material_science/heat_treatment__stress_relieving_12886.htm
- Heizer, J., & Render, B. (2007). *Dirección de la producción y de operaciones. Decisiones estratégicas*. Madrid: Pearson.
- Hernandez-Matias, J. C., Vizan, A., Hidalgo, A., & Ríos, J. (2006). Evaluation of techniques for manufacturing process analysis. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 571-583.

- Kiran, D. R. (2016). Total Productive Maintenance. En D. R. Kiran, *Total Quality Management: Key Concepts and Case Studies* (págs. 177-192). New Delhi: Butterworth-Heinemann.
- Krajewski, L. R. (2008). *Administración de operaciones. Procesos y cadenas de Valor*. México: Pearson Educación.
- Luna-Puente, R., Guerrero-Aguirre, J. D., Contreras-Amezquita, E., & Moreno-Villanueva, E. (2010). Análisis del proceso de fabricación de cuellos de camisa. *TECNOCENCIA Chihuahua*, 39-47.
- Martínez Carazo, P. C. (2006). El método de estudio de caso: Estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento y Gestión*, 165-193.
- Molano, A. F., & Materón, C. (2018). Reducción del tiempo de ciclo para el aumento de la productividad en el proceso de elaboración de concentrado para gallinas ponedoras. Santiago de Cali, Colombia.
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Niebel, B., & Freivalds, A. (2014). *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares, y diseño del trabajo*. Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana.
- Okutmuş, E., Kahveci, A., & Kartaşova, J. (2015). Using theory of constraints for reaching optimal product mix: An application in the furniture sector. *Intellectual Economics*, 138-149.
- Omogbai, O., & Salonitis, K. (2017). The implementation of 5S lean tool using system dynamics approach. *Procedia CIRP*, 380-385.
- Organización Internacional del Trabajo. (1996). *Introducción al Estudio del Trabajo*. Ginebra: Limusa.
- Ortiz-Triana, V., & Caicedo-Rolón, A. J. (2015). Procedimiento para la programación y control de la producción de una pequeña empresa. *Ingeniería Industrial*, 89-104.
- Peña Collazos, W. (2009). El estudio de caso como recurso metodológico apropiado a la investigación en ciencias sociales. *Revista Educación y Desarrollo Social*, 180-195.
- Pierce, L., Snow, D., & McAfee, A. (2015). Cleaning House: The Impact of Information Technology Monitoring on Employee Theft and Productivity. *Management Science*, 1-47.

- Robles Rodríguez, V. M. (2012). Propuesta de mejoramiento del proceso productivo de los cereales en la empresa Big Bran S.A.S. a partir de la implementación de la Teoría de Lean Manufacturing. Bogotá, Colombia.
- Rocha, H., Pinto, L., & Silva, F. (2018). Analysis and Improvement of Processes in the Jewelry Industry. *Procedia Manufacturing*, 640-646.
- Saavedra García, M. L. (2017). El estudio de un caso como diseño de investigación en las ciencias administrativas. *Iberoamerican Business Journal*, 72-97.
- Schroeder, R. G. (2011). *Administración de operaciones: Conceptos y casos contemporáneos*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Serrano-Gómez, L., & Ortiz-Pimiento, N. (2012). Una revisión de los modelos de mejoramiento de procesos con enfoque en el rediseño. *Estudios Gerenciales*, 13-22.
- Şimşita, Z. T., Günayb, N. S., & Vayvayc, Ö. (2014). Theory of Constraints: A Literature Review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 930-936.
- Singh, R., Gohil, A. M., Shah, D. B., & Desai, S. (2013). Total Productive Maintenance (TPM) Implementation in a Machine Shop: A Case Study. *Procedia Engineering*, 592-599.
- Tao, F., Qi, Q., Liu, A., & Kusiak, A. (2018). Data-driven smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 1-13.
- Yang, G.-l., Fukuyama, H., & Song, Y.-y. (2018). Estimating Capacity Utilization of Chinese Manufacturing Industries. *Socio-Economic Planning Science*, 2-44.

Propuesta para el incremento de productividad en una maquiladora de componentes de turbinas de avión

Por Rafael Alejandro Granados Gil

Propuesta para el incremento de productividad en una maquiladora de componentes de turbinas de avión

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	www.ingquimica.uady.mx Internet	242 palabras — 1%
2	docplayer.es Internet	110 palabras — 1%
3	www.slideshare.net Internet	109 palabras — 1%
4	aula200.com Internet	96 palabras — 1%
5	www.journaltop.com Internet	90 palabras — 1%
6	narrativasadolescentes15fps.blogspot.com Internet	61 palabras — < 1%
7	www.slideserve.com Internet	57 palabras — < 1%
8	www.u-cursos.cl Internet	53 palabras — < 1%
9	hdl.handle.net Internet	50 palabras — < 1%
10	creativecommons.org Internet	46 palabras — < 1%

11	Internet	41 palabras — < 1%
12	www.scribd.com Internet	35 palabras — < 1%
13	articulospm.files.wordpress.com Internet	35 palabras — < 1%
14	bibliotecadigital.usb.edu.co Internet	33 palabras — < 1%
15	es.scribd.com Internet	32 palabras — < 1%
16	tesis.usat.edu.pe Internet	32 palabras — < 1%
17	myslide.es Internet	29 palabras — < 1%
18	repositorio.utc.edu.ec Internet	28 palabras — < 1%
19	documentop.com Internet	28 palabras — < 1%
20	marvinlagos.blogspot.com Internet	26 palabras — < 1%
21	www.datasheets.com Internet	22 palabras — < 1%
22	fr.scribd.com Internet	21 palabras — < 1%
23	www.theibfr.com Internet	20 palabras — < 1%
24	200.13.202.26 Internet	19 palabras — < 1%

25	www.redalyc.org Internet	19 palabras — < 1%
26	www.apte.org Internet	19 palabras — < 1%
27	repository.lasalle.edu.co Internet	18 palabras — < 1%
28	repositorio.unan.edu.ni Internet	16 palabras — < 1%
29	cybertesis.unmsm.edu.pe Internet	16 palabras — < 1%
30	www.upo.es Internet	15 palabras — < 1%
31	www.eumed.net Internet	14 palabras — < 1%
32	repositorio.uchile.cl Internet	14 palabras — < 1%
33	www.researchgate.net Internet	13 palabras — < 1%
34	comunidadpmpca.uaslp.mx Internet	13 palabras — < 1%
35	www.uaeh.edu.mx Internet	12 palabras — < 1%
36	ddd.uab.cat Internet	12 palabras — < 1%
37	cunas.udea.edu.co Internet	12 palabras — < 1%
38	tesis.ucsm.edu.pe Internet	12 palabras — < 1%

39	Silvia Marzal Romeu. "Concepción e integración de arquitecturas y protocolos de comunicación dentro de sistemas de supervisión y control de microrredes inteligentes", Universitat Politecnica de Valencia, 2019 Crossref	11 palabras — < 1%
40	www.paot.org.mx Internet	11 palabras — < 1%
41	bibliotecadigital.univalle.edu.co Internet	11 palabras — < 1%
42	selene.uab.es Internet	11 palabras — < 1%
43	www.repositorio.usac.edu.gt Internet	11 palabras — < 1%
44	www.icesi.edu.co Internet	11 palabras — < 1%
45	gestiopolis.com Internet	11 palabras — < 1%
46	www.siga.cl Internet	11 palabras — < 1%
47	documents.mx Internet	10 palabras — < 1%
48	www.ica.luz.ve Internet	10 palabras — < 1%
49	www.resellerweb.com.ar Internet	10 palabras — < 1%
50	laopinion.com Internet	10 palabras — < 1%
51	www.guadalupeleonardo.galeon.com Internet	10 palabras — < 1%

52	www.herramienta.com.ar Internet	10 palabras — < 1%
53	www.coursehero.com Internet	10 palabras — < 1%
54	www.ingenierosciviles.org Internet	10 palabras — < 1%
55	www.modernizacion.gov.ar Internet	10 palabras — < 1%
56	scielosp.org Internet	10 palabras — < 1%
57	repositorio.ufscar.br Internet	10 palabras — < 1%
58	repositorio.ucv.edu.pe Internet	9 palabras — < 1%
59	bibdigital.epn.edu.ec Internet	9 palabras — < 1%
60	www.parlamento-navarra.es Internet	9 palabras — < 1%
61	www.inmobilieninspanien.org Internet	9 palabras — < 1%
62	tangara.uis.edu.co Internet	9 palabras — < 1%
63	www.fundacioabertis.org Internet	9 palabras — < 1%
64	www.revistaespacios.com Internet	9 palabras — < 1%
65	core.ac.uk Internet	9 palabras — < 1%

66	www.dri.gov.co Internet	9 palabras — < 1%
67	issuu.com Internet	9 palabras — < 1%
68	upcommons.upc.edu Internet	9 palabras — < 1%
69	xlibros.com Internet	9 palabras — < 1%
70	repositorio.uigv.edu.pe Internet	9 palabras — < 1%
71	worldwidescience.org Internet	9 palabras — < 1%

EXCLUIR CITAS

ACTIVADO

EXCLUIR
COINCIDENCIAS

DESACTIVADO

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO